صلاح الدين طلبة

السيبرنطيقا

أحدث علوم القرن العشرين

١ ــ ما هي السيبرنطيقا ؟

الآلات والاعصاب :

ما هو الفرق بين آلات الثورة الصناعيــــةالاولى وآلات الثورة الصناعية الثانية ؟ **يقــــول بولانجيــه** G. R. Boulanger رئيس الاتحــــادالدولى للسيبرنطيقا : « كانت مهمة التنسيــــق متروكة للانسان ، وفى المستقبل سوف تتـــــرك للآلة نفسها ، وهذه هي الأهمية الحقيقية للثورة الصناعية الثانية واختلافها الأساسى عن ميكنــةالقرن التاسع عشر » (١) ويقول **جريى وولتــــر** Grey Walter مدير معهد الأعصاب فى برستول « كان لآلات الثورة الصناعية الاولى عضلات ، ولكن لم يكن لها أعصاب » . ومؤدى هذا الكلامكله ان آلات الثورة الصناعية الثانية من نـــــوع جديد تماماً ، جاء ليغتصب بعضاً من وظـــائفالجهاز العصبــــي للانسان . ولكن ما هي وظائف هذا الجهاز ؟

يعمل الجهاز العصبي للانسان فى خدمتهطول الوقت بطرقمختلفة . فهـــو يقوم بـــــدور الحارس له ، ويجمع المعلومات عن العالم خارجه،كما يجمعها عما هو بداخله ، ويعالج كل هـــــذه

(١) Rose, J. editor : Survey of Cybernetics, Iliffe, 1969, chap. I.

المعلومات من أجل الاستعمال الفورى أو الاستعمال فى المستقبل . وهو مركز عام للاتصالات . وهو « مركز القيادة » الذى يقوم باتخاذ القرارات فى كل شىء يقوم به الجسم .

وبالرغم من أن هناك كثيراً من الأسرار التى تحيط بالجهاز العصبي للانسان (وغيره من الكائنات الحية) فان معلوماتنا عنه تزداد كل يوم . وهناك كثير من الأسرار التي كشفت ، كما أن هناك ولا شك أسراراً اخرى كثيرة فى طريقها الى الاكتشاف . ولا يقتصر هذا الكلام على علم الأعصاب وحده . فربما كان أكبر تقدم ينتظر الانسان فى المجالات المختلفة للعلم هو ما سيكون فى ميادين البيولوجيا . فالتكنولوجيا الحديثة تعطى أدوات متزايدة الكمال للعمل فى تجارب العلوم البيولوجية (مثل الميكروسكوبات الالكترونية ، ورسامات المخ الكهربية ، والأجهزة فوق الصوتية ، وغيرها) مما يسمح باستخدام طرق متزايدة الدقة لمتابعة العمليات التي تحدث فى الكائنات الحية . وهكذا نجد ازدياداً مستمراً فى وضوح رؤيتنا للعلاقة بين سلوك الكائنات الحية وتركيبها. ومما نعلمه الآن مثلاً عن الجهاز العصبي أنه يستخدم فى نقل المعلومات ، عبر الأعصاب ، طريقة تعتبر الى حد ما « رقمية » digital ، اذ ان اداتها نبضات كهربية (تعمل بحدوث تغيرات كيميائية) ، مما جعل البعض يظن عند ادخال الكمبيوترات الرقمية الاولى أن بعض عمليات المخ يمكن اعتبارها من نوع عمل تلك الكمبيوترات الرقمية . وقد تجاهل الكثيرون أنه ربما كان المخ يعمل بطرق مختلفة اخرى مثل استخدام التغيرات فى الضغوط الكهربية (مما يمكن اعتباره الى حد ما من نوع عمل الكمبيوترات التناظرية) . على أننا ما زلنا بعيدين كل البعد عن فهم طريقة عمل الجهاز العصبي المركزى (الدماغ والحبل الشوكي) . ويجب الا نذهب بعيداً جداً فى المقارنات بين عمل هذا الجهاز وعمل العقول الالكترونية . ومن الواجب فى هذا الصدد أن نتذكر أمرين ، **هما :**

١ ـ أن الجهاز العصبي للانسان يحتوى على عشرة آلاف مليون خلية عصبية فى الدماغ وحده . واذا أردنا أن نعرف مقدار الأعمال التى يمكن أن يؤديها هذا الجهاز فعلينا أن نتذكر أن دماغ النملة يحتوى على ٢٥٠ خلية تقريباً ، وان دماغ النحلة يحتوى على ٩٠٠ خلية تقريباً ، وانه لا يمكن أن يقوم أى كمبيوتر رقمي ـ يحتوى على مثل احد هذين العددين الضئيلين من الوحدات البنائية ـ بشىء يستحق الذكر مما يستطيع دماغ النملة أو النحلة ان يؤديه .

٢ ـ أن الهدف الذى يعمل من اجله اى عقل الكتروني يُحدد له من الخارج . أما الهدف الذى يعمل من أجله الجهاز العصبي فمحدد من الداخل (سواء بوعى أو بدون وعي) .

على أننا اذا كنا ننظر الى القيمة العملية لآلات المستقبل فيجب الا يسبب لنا الأمر الأول اى ازعاج . اذ أننا لن نكون فى حاجة حقيقية الى آلات تقوم بكل الأعمال التى يقوم بها الجهاز العصبي للانسان . على أنه سيكون هناك الكثير مما تستطيع آلات المستقبل القيام به من هذه الاعمال . وسيكون قيامها بهذه الأعمال بطريقة أكفأ وأسرع . ولدينا الدليل الحاضر فى العقول الالكترونية والصناعات الاوتوماتيكية .

كذلك لا يجب أن يقلل الأمر الثانى اطلاقاً من القيمة العملية لآلات المستقبل ، فاننا ـ على اى حال ـ لا نريد أية آلة تحدد الهدف لنفسها . وما نحتاجه فعلاً هو آلات تقوم بالاشراف والمراقبة والتنسيق من أجل تحقيق الهدف الذى نحدده نحن لها .

ولكن ما هي الآلات التي تستطيع القيام بذلك ؟ ان أهمها هي العقول الالكترونية ، والآلات

التي تعمل باستخدام ما يسميه المهندسون ((**التغذية المرتدة**)) . وقد سبق أن تكلمنا عن العقول الالكترونية فى العدد الثاني من المجلد الأول من هذه المجلة . ومن المناسب الآن أن نتكلم بايجاز عن التغذية المرتدة .

التغذية المرتدة (بالمعلومات) (Information) feedback

يجلس مدير المصنع الى مكتبه ويعطي الأوامر مراعياً أن تصل بطريقة ما الى قاعات العمل ، ثم يتلقى ، بطريقة ما ، بيانات عن سير العمل قد تلزمه فى الحال أو فى المستقبل لتعديل الأوامر أو لاعطاء الأوامر التالية . واذا كان هذا المدير مهندساً فانه سيعبر عما يحدث بأن يقول انه يرسل اشارات تتضمن أوامر بانجاز عمل معين ، ثم « يرد » عليه باشارات « تغذيه » بالمعلومات عن سير العمل . وسوف يسمى هذا المهندس عملية الرد عليه لانبائه بالمعلومات اللازمة باسم ((**التغذية المرتدة بالمعلومات**)) أو ، اختصارا ، باسم ((**التغذية المرتدة**)) . ومن الواضح ان التغذية المرتدة (بالمعلومات) لا غنى عنها لتحكم المدير فى سير العمل .

وينطلق الصاروخ الى أجواز الفضاء وتصدر اليه الأوامر تباعاً من « مركز التحكم » أو ما يسميه البعض « مركز المتابعة » ، وتكون هذه الأوامر فى شكل اشارات من نوع ما . و « يرد » من الصاروخ على مركز التحكم باشارات ، من نوع ما ، « تغذيه » بالمعلومات عن الصاروخ مما يلزم المركز فى الحال ، أو فى المستقبل ، لتعديل الأوامر أو لاعطاء الأوامر التالية . وسوف نحذو الآن حذو المهندسين ونطلق على عملية الرد على مركز المتابعة لافادته بالمعلومات اللازمة عن الصاروخ اسم « التغذية المرتدة » (بالمعلومات) .

وهنا أيضاً نجد أن التغذية المرتدة بالمعلومات لا غنى عنها لتحكم مركز المتابعة فى رحلة الصاروخ .

ويضع الطفل يده على جسم ساخن فتسير التيارات العصبية من اليد ناقلة المعلومات الى النخاع الشوكى (وهو مركز التحكم فى الحركات الانعكاسية) . وبمجرد تغذية النخاع الشوكي بالمعلومات الواردة من اليد تصدر الأوامر منه ، عن طريق تيارات فى الاعصاب الحركية المختصة ، الى العضلات لكي تبعد يد الطفل فى التو عن الجسم الساخن .

وهنا أيضاً نجد عملية تغذية مرتدة (بالمعلومات) ، ومن الواضح أن هذه العملية لا غنى عنها للتحكم فى يد الطفل فى الوقت المناسب .

ويجلس سائق السيارة الى عجلة القيادة فتصدر الأوامر من مخه الى يديه بتوجيه السيارة فى اتجاه الطريق ، وتسير التيارات العصبية من العينين ناقلة المعلومات الى المخ (وهو مركز التحكم فى الحركات الارادية) . وبمجرد تغذية المخ بالمعلومات عن اتجاه السيارة بالنسبة الى الطريق يعطى المعلومات الى اليد ، عن طريق تيارات فى الأعصاب الحركية المختصة ، اما لابقاء اتجاه السيارة كما هو (اذا كانت سائرة فى الاتجاه الصحيح) أو لتعديله حتى تسير السيارة فى اتجاه الطريق .

وهنا أيضاً نجد عملية تغذية مرتدة (بالمعلومات) كما أن هذه العملية لا غنى عنها للتحكم فى اتجاه السيارة .

وكل من الأمثلة الأربعة السابقة يتضمن مايطلق عليه اسم ((**نظام تحكمى**)) Control System وهنا نستخدم كلمة ((**نظام**)) للتعبير عن أى ترتيب أو مجموعة من الأشياء بينها علاقة أو ارتباط من

نوعما يجعلها تشكل كلاً ، أو تعمل كوحدة كاملة،او تقوم بالأمرين معاً . وبهذا الاصطلاح يكون **((النظام التحكمي)) تعبيراً عن مجموعة من الأشياء متصلة او مرتبطة ببعضها البعض بطريقة تجعلها توجه ، او تضبط ، او تتحكم في نفسها او في اى نظام آخر .**

وتنقسم النظم التحكمية الى قسمين رئيسيين . ولشرح ذلك سندخل مصطلحين فنيين هما ((**الادخال**)) و ((**الاخراج**)) .

والادخال input هو **الاثارة** التى تدخل على نظام من مصدر خارجي لكي تنتج عادة استجابة معينة من النظام .

والاخراج output هو **الاستجابة الفعلية** الصادرة من النظام . وقد تكون مساوية أو غير مساوية للاستجابة المعينة التي يتضمنها الادخال .

ففي نظام تكييف اوتوماتيكي لهواء غرفة ،وهو نظام تحكمى من صنع الانسان ، يكون الادخال هو درجة الحرارة التى نعينها (ونحددها بضبط الثرموستات) . اما الاخراج فهو درجة الحرارة الفعلية فى الغرفة .

وجهاز العرق فى الانسان جزء من النظام البيولوجي الذى يتحكم فى درجة حرارته . وعندما ترتفع درجة حرارة الجلد الخارجية عن حد معين نجد أن الغدد العرقية تفرز العرق بغزارة ، ويؤدى تبخر العرق الى انخفاض درجة حرارة الجلد . وعندما يحدث التبريد اللازم يقف الافراز الزائد للعرق . والادخال هنا ، هو درجة الحرارة العادية او المناسبة للجلد ، والاخراج ، هو درجة الحرارة الفعلية .

ويمكننا الآن ان نشرح الفرق بين نوعى الأنظمة التحكمية . ولذلك دعنا نقارن بين نظام تدفئة يتكون من مدفأة عادية فى غرفة ، ونظام تدفئة اوتوماتيكية فى غرفة اخرى . فاذا كان الجهازان معدين للعمل فان المدفأة العادية ستعمل باستمرار على تدفئة الغرفة غير متأثرة بدرجة الحرارة الفعلية للهواء المحيط بها ، اى بالاخراج. أما الجهاز الاوتوماتيكي فانه سيعمل او يتوقف عن العمل حسب درجة الحرارة الفعلية فى الغرفة، اى انه سيتأثر بالاخراج .

فهناك اذن **نوعان** من النظم التحكمية :

١ ــ النظم التحكمية التي يكون العمل فيها **مستقلاً عن الاخراج** (اى لا يتأثر به) . وهذه نسميها **نظماً تحكمية مفتوحة الحلقة** open-loop control systems

٢ ــ النظم التحكمية التي **يتوقف العمل فيها بطريقة ما على الاخراج** ، وهذه نسميها **نظماً تحكمية مغلقة الحلقة** closed-loop control systems ويطلق أيضاً على هذه النظم اسم ((**نظم ذاتية التحكم**)) self-controlled systems ويمكننا الآن أن نعطى التعريف التالي :

التغذية المرتدة هي خاصية للنظم التحكمية المغلقة الحلقة تسمح للاخراج بان يقارن بالادخال لكي يتم العمل التحكمي الملائم .

ولو رجعنا الى الأمثلة الأربعة التي اعطيناها على التغذية المرتدة فاننا سنجد ان كل مثال

يحتوى على نظام تحكمى مغلق الحلقة ، وان بعض هذه النظم من صنع الانسان ، كما فى مثال اطلاق الصاروخ ، وبعضها بيولوجي ، كما فى مثال وضع يد الطفل على جسم ساخن ، وسنجد فى كل من المثالين الآخرين نظاماً بعضه بيولوجي وبعضه من صنع الانسان .

ويلاحظ فى كل من الأمثلة الأربعة السابقة ان الغرض من التحكم هو **ملاشاة الفرق بين الادخال والاخراج** . وعندما يكون هذا هو الغرض من التحكم فانه يطلق على التغذية المرتدة اسم « **التغذية المرتدة السالبة** » negative feedback كما يطلق على الفرق بين الادخال والاخراج اسم « الخطا » . اى ان :

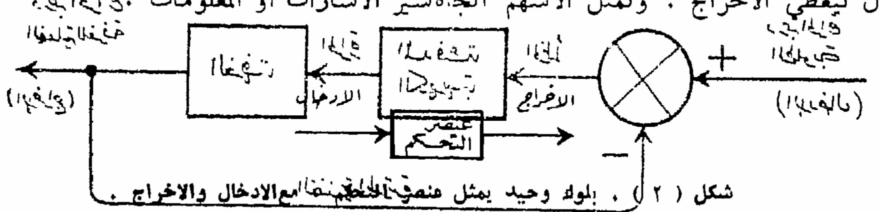
الخطا = الادخال ــ الاخراج

وفى نظم التغذية المرتدة السالبة ، وهي النظم التى سيقتصر كلامنا عليها ، يكون الخطا هو « **الاشارة المنشطة** » actuating signal لعنصر التحكم فى النظام .

اشكال البلوكات : Block diagrams

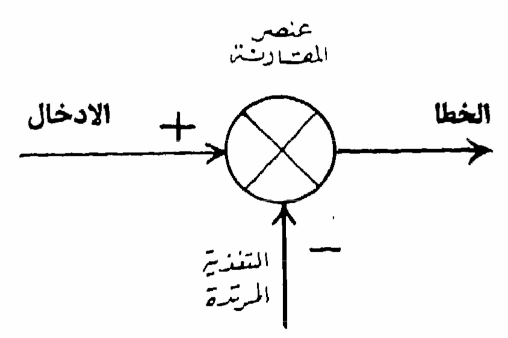
اذا كان لدينا نظام تحكمى واردنا اعطاء فكرة مبسطة عن علاقة السبب والنتيجة بين الادخال والاخراج [illegible] يسمى « **شكل البلوكات** » [illegible] كما فى شكل [illegible]

وفى العادة يحتوي المستطيل الذى يمثل البلوك على وصف او اسم العنصر الذى يؤثر على الادخال ليعطي الاخراج . وتمثل الأسهم اتجاه سير الاشارات او المعلومات .



شكل (٢) . بلوك وحيد يمثل منحنى [illegible] الادخال والاخراج .

وفى حالة التغذية المرتدة السالبة فى نظام تحكمى مغلق الحلقة يكون هناك « **عنصر مقارنة** » comparator [illegible] اذن هو [illegible]
السالبة . شكل (٣)



شكل (٣) عنصر المقارنة فى نظام تحكمى مغلق الحلقة

وفيما يلي بعض الأمثلة على اشكال البلوكات لأنظمة تحكمية مغلقة الحلقة تتضمن تغذية مرتدة سالبة .

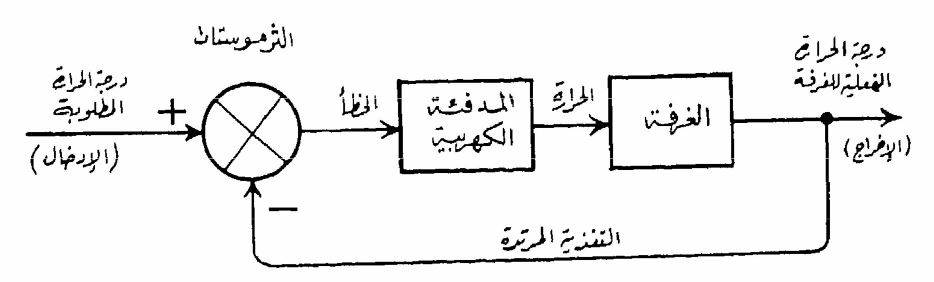
والاشـــكال (٤) ، (٥) ، (٦) ، (٧) تمثـل اشكال بلوكات لنظم تحكمية مختلفة .

فشكل (٤) يمثل النظام الأوتوماتيكي ، الذى تحدثنا عنه ، لتدفئة غرفة .

وهنا نجد أن عنصر المقارنة هو الثرموستات الذى يقارن بين درجة الحرارة المطلوبة (وهى الادخال) ودرجة الحرارة الفعلية للغرفة (وهي الاخراج) ، وذلك بناء على المعلومات التي تصله بطريق التغذية المرتدة . ولعنصر المقارنة اخراج ، هو الخطأ ، الذى تعطيه فى هذه الحالة المعادلة الآتية :

الخطأ = درجة الحرارة المطلوبة ــ درجة الحرارة الفعلية للغرفة .

وطالما كان الخطــأ فى هـــذه الحالة موجبا (اى طالمـــا كانت درجـــة الحـــرارة المطلوبـــة تكـــون أعلى مـــن درجـــة حـــرارة الفرفة) فان المدفأة الكهربية تعمل . وعندما يصل الخطأ الى الصفر يبطل عمل المدفأة او توماتيكا .

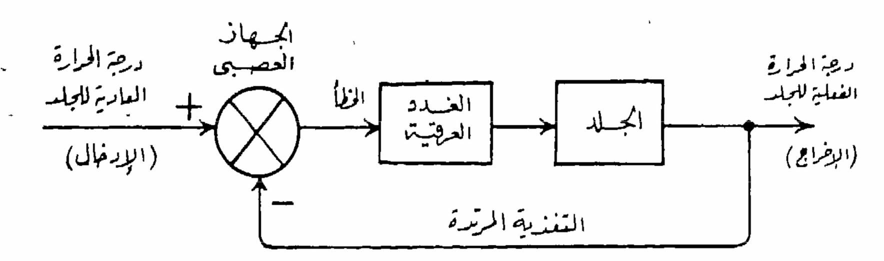


شكل (٤) شكل بلوكات لنظام اوتوماتيكي لتدفئة غرفة

ويمثل شكل (٥) النظام البيولوجي للتحكم فى درجة حرارة الجلد بافراز العرق وبخره . وهنا نجد أن عنصر المقارنة هو الجهاز العصبي الذى يقارن بين درجة حرارة الجلد العاديـــة (وهي الادخال فى هذه الحالة) ودرجة الحرارة الفعلية للجلد (وهي الاخراج) ، وذلك بناء على المعلومات التي تصله بطريق التغذية المرتدة . والخطأ هنا تعطيه المعادلة الآتية :

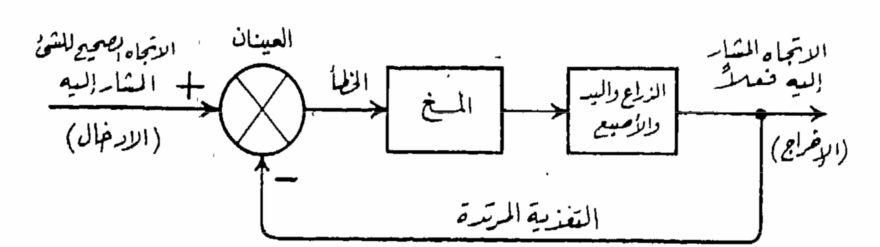
الخطأ = درجة الحرارة العادية للجلد ـ درجة الحرارة الفعلية للجلد .

وطالما كان الخطأ فى هذه الحالة سالبا (أى طالما كانت درجة الحرارة العادية للجلد منخفضة عن درجة الحرارة الفعلية له) فان افراز الغدد العرقية يكون أعلى من المعدل . وعندما يصل الخطأ الى الصفر يعود الافراز الى معدله .



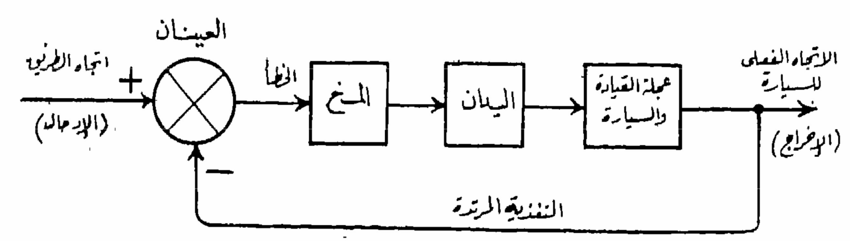
شكل (٥) شكل بلوكات لنظام بيولوجي للتحكم فى درجة حرارة الجلد بافراز العرق وبخره .

ويمثل شكل (٦) نظاما تحكميا يتضمن الاشارة بالاصبع الى شيء متحرك أو ثابت . وهنا تكون العينان هما عنصر المقارنة . وأى خطأ فى الاتجاه الفعلى للاشارة (بالنسبة للاتجاه الصحيح للشيء المشار اليه) يبلغ الى المخ الذى يرسل الاشارة الى الذراع واليد والاصبع لتصحيح اتجاه الاشارة .



شكل (٦) شكل بلوكات لنظام تحكمى يتضمن الاشارة بالاصبع الى شيء (متحرك او ثابت) .

ويمثل شكل (٧) نظاما للتحكم فى اتجاه سير سيارة فى الطريق . وهنا ايضا نجد أن العينين هما عنصر المقارنة . وسنترك القارىء يحاول الآن تتبع « الحلقة » فى الشكل .

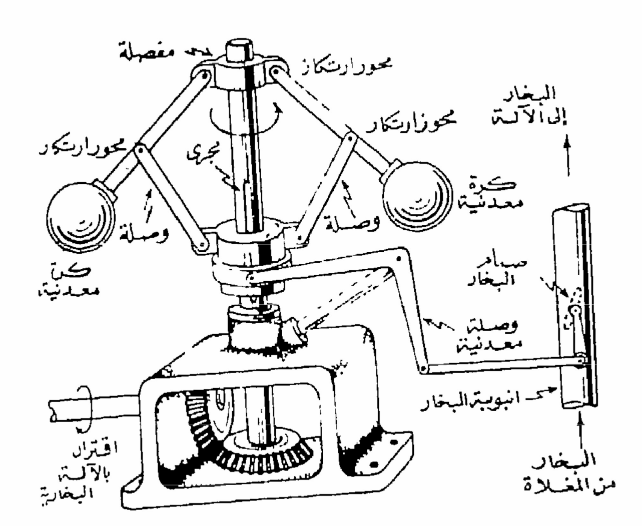


شكل (٧) شكل بلوكات يمثل نظاما للتحكم فى اتجاه سير سيارة فى الطريق .

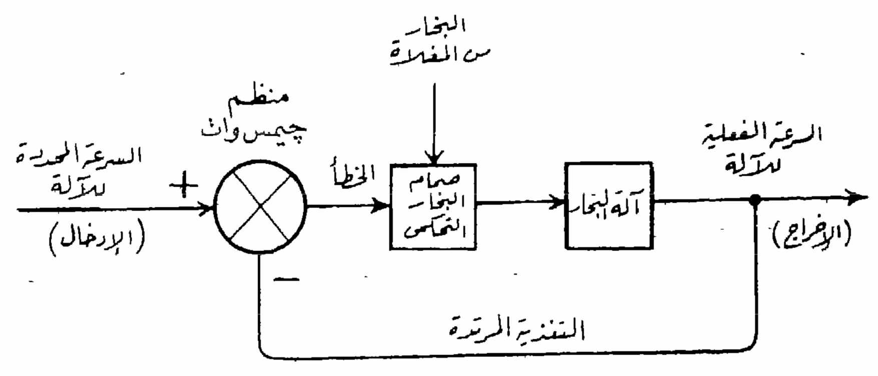
منظم جيمس واط : James Watt Governor

ليست فكرة التحكم الاوتوماتيكي جديدة . ففي سنة ١٧٩٠ اخترع جيمس واط ((**منظماً**)) او ((**حاكماً**)) اوتوماتيكياً لضبط سرعة الآلة البخارية التى اخترعها عندما وجد أن زيادة الحمل تنقص من السرعة . ويعمل ذلك المنظم باستخدام القوة الطاردة المركزية . فعندما تهبط سرعة الآلة (بسبب زيادة الحمل) تهبط كرتان معدنيتان هما جزءان من الجهاز ويؤدى ذلك الى ادارة صمام فى انبوبة البخار بحيث يزداد البخار الداخل ، وبذلك تزيد سرعة الآلة حتى تصل الى السرعة المطلوبة . والعكس بالعكس .

انظر شكل (٨) ، (٩)



شكل (٨) منظم (حاكم) جيمس واط .



شكل (٩) شكل بلوكات يمثل نظاما تحكميا يتضمن منظم جيمس واط

الاهتزاز فى النظم التحكمية : Oscillation (hunting)

من المعلوم أنه اذا سار شخص مسافة طويلة وفى يده كوب مملوء بالماء فانه سيجد صعوبة فى منع انسكاب الماء من الكوب . والسبب فى ذلك هو الحركات المبالغ فيها نتيجة التغذية المرتدة الزائدة . فحامل الكوب سيحاول جعل محور الكوب راسيا ، أى أن يجعل محوره يصنع زاوية صفر مع الراسى . وهذا هو الادخال . على أن الاخراج لن يكون صفراً فى الغالب . وللاشارة الخطأ لا بد من تحريك محور الكوب (فى اتجاه اليمين مثلاً) . فاذا كانت هذه الحركة مبالغاً فيها فان الماء سينسكب بسبب خطأ جديد مضاد لاتجاه الخطأ الأول ولكنه أكبر منه . واذا تلا ذلك تغذية مرتدة زائدة ونشأ عنها حركة مبالغ فيها (فى اتجاه اليسار هذه المرة) فان الماء سينسكب من الجهة الاخرى ، وهكذا . .

ويدل هذا المثال على أن التغذية المرتدة الزائدة ينشأ عنها (اهتزاز) ويكون ضررها أكبر من نفعها . ويخشى المهندسون هذا النوع من الاهتزاز فى النظم التحكمية الاوتوماتيكية ويطلقون عليه اسم hunting . ومن أهم ما يراعونه عند تصميم عناصر التحكم أن يكون الاهتزاز أقل ما يمكن . أما البيولوجيون فلم يفطنوا الى علاقة التغذية المرتدة الزائدة بالرعشة التى تصاحب بعض الحركات الارادية الا فى وقت متاخر نسبياً . وقد كان لاكتشاف هذه العلاقة أثر كبير فى تغيير أفكار العلماء عن أساس عمل الجهاز العصبي للانسان ، وبدا أنه **توجد اسس مشتركة لعمليات التحكم فى النظم البيولوجية والنظم الاوتوماتيكية .**

ومما يجدر ذكره أن الذين نبهوا الى ذلك كانوا ثلاثة اشخاص من ميادين مختلفة ، فاحدهم استاذ للرياضيات ، والآخر مهندس ، والثالث طبيب استعانوا به لتأكيد صحة الاستنتاج الذى وصلوا اليه .

والآن لنترك استاذ الرياضيات يقص علينا قصة ذلك الاكتشاف وأثره .

رعشة الغرض : purpose tremor

فى كتاب « **السيبرنطيقا** » (٢) للعالم الامريكي الكبير **نوربرت ڤينر** Norbert Wiener (١٨٩٤ — ١٩٦٤) يقص المؤلف قصة اكتشاف من أهم الاكتشافات المتعلقة بالفعل الارادى للانسان . وابطال هذه القصة ثلاثة هم (١) المؤلف وهو أكبر علماء الرياضيات الذين انجبتهم الولايات المتحدة الأمريكية (٢) **أرتورو روزنبلوت** Arturo Rosenblueth الطبيب المكسيكي الأصل وهو واحد من اكبر علماء الفسيولوجيا فى القرن العشرين (٣) **جوليان بيجيلو** Julian H. Bigelow وهو مهندس كهربي اشترك مع ڤينر فى البحوث المتعلقة بالتحكم . يقول ڤينر :

« والآن لنفرض أنى التقط قلم رصاص . لكي افعل ذلك فعلي أن احرك عضلات معينة . الا انه باستثناء خبراء قليلين فى علم التشريح فاننا جميعاً لا نعلم ما هي هذه العضلات . وحتى بين علماء التشريح لا يوجد الا القليلون الذين يمكنهم القيام بعملية انقباض كل عضلة معنية بالترتيب وبرغبة واعية . وبالعكس ، سيكون ما نفعله هو أن **نلتقط القلم** . وبمجرد أن نقرر ذلك

---

(٢) Wiener, N. : **Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine**, Wiley (1948) P. 8.

فاننا نتحرك بطريقة يمكن ان نصفها بالتقريب بأن نقول ان مقدار عدم التقاطنا للقلم يقل في كل مرحلة . وهذا الجزء من العمل يكون بغير وعي كامل .

« ولأداء عمل بمثل هذه الطريقة لا بد من وجود تقرير للجهاز العصبي ، سواء بوعي أو بغير وعي ، عن مقدار فشلنا في كل لحظة في التقاط القلم . واذا كانت اعيننا على القلم فان هذا التقرير سيكون بصرياً في جزء منه على الأقل ، ولكنه على وجه أعم ، سيكون عن موضع جسمنا واطرافنا Propioceptive . فاذا كانت الاحساسات بموضع الجسم والأطراف غير كافية ولم نستبدلها بعوض بصري أو غير بصري ، فاننا سنكون عاجزين عن القيام بالتقاط القلم ، وسنجد أنفسنا في حالة ما يعرف باسم الشلل الجزئي ataxia . والشلل الجزئي من هذا النوع معروف في شكل زهري الجهاز العصبي المركزي ، ويطلق عليه اسم « الهزال الظهري » tabes doralis وهو ينشأ من تلف الاحساس بموضع الجسم والأطراف ، وهو احساس تحمله الأعصاب الشوكية .

« على أن التغذية المرتدة الزائدة عن الحد ربما كانت عائقاً للنشاط المنظم ، اكبر من التغذية المرتدة الناقصة . وبسبب امكان ذلك ، القيتانا والمستر بيجيلو على الدكتور روزنبلوت سؤالا محددا تماما وهو : « هل توجد اية حالة مرضية يحدث فيها للمريض ، عندما يريد القيام بعمل ارادي مثل التقاط قلم ، ان يتعدى الشيء ويهتز اهتزازا لا يمكنه التحكم فيه ؟ » . وعلى الفور اجاب الدكتور روزنبلوت بانه توجد حالة مرضية معروفة تماما بهذا الشكل وانها تسمى « رعشة الغرض » purpose tremor وتكون في الغالب مصحوبة بتلف في المخيخ .

« وهكذا وجدنا تأكيداً معنوياً كبيراً جداً لفرضنا بشأن طبيعة بعض النشاط الارادي على الأقل . ويلاحظ أن وجهة نظرنا تعدت ، بدرجة كبيرة ، وجهة النظر التي كانت سارية بين فسيولوجيي الاعصاب . **فالجهاز العصبي المركزي لم يعد يبدو كعضو قائم بنفسه يتلقى الادخالات (الاثارات) من الحواس ثم يفرغ التيارات في العضلات . فبالعكس ، لا يمكن تفسير بعض نشاطاته المميزة الا بانها اعمال دورية ، تخرج من الجهاز العصبي وتدخل في العضلات ، ثم تدخل الجهاز العصبي مرة اخرى من خلال اعضاء الحس ، سواء كانت مما يتعلق بالاحساس بموضع الجسم او كانت اعضاء حس خاصة** . وقد بدا لنا ان ذلك يحدد لنا خطوة جديدة في دراسة ذلك الجزء من فسيولوجيا الاعصاب الذي لا يقتصر امره على العمليات الاولية للجهاز العصبي ، وانما يتعداه الى أداء الجهاز العصبي ككل متكامل .

« وقد شعر ثلاثتنا بأن هذه الوجهة الجديدة للنظر تستحق كتابة بحث ، وقد كتبناه ونشرناه (٣) . وقد تنبأ الدكتور روزنبلوت وانا بأن هذا البحث لا يمكن أن يكون الا تقريراً عن برنامج لشيء كثير من العمل التجريبي ، وقررنا أنه اذا امكننا في وقت ما أن نخرج خطتنا الى النور ، فسيكون هذا الموضوع هو مركز نشاطنا » .

---

(٣) Rosenblueth, A., N. Wiener, and J. Bigelow, "Behavior, Purpose and Teleology," Philosophy of Sience, 10, 18-24 (1943).

البحث فى « الأرض المحايدة » بين ميادين العلم المتوطدة :

لقد كانت الأهمية الكبرى للنتيجة التي وصل اليها العلماء الثلاثة **فينر وروزنبلوت وبيجيلو** هي أنه اتضح الآن أن الجهاز العصبي للانسان يعمل على أساس دورى ، أى انه يدخل فى « حلقة » مقفلة تسير فيها الاشارات ، فى شكل دائرة ، ثم تعود لتسير مرة اخرى فى نفس الدائرة ، وهكذا . ولا بد أن القارىء قد خطر له هذا السؤال : بالرغم من الاختلاف المنظور بين النظم التحكمية الاوتوماتيكية والنظم التحكمية البيولوجية ، ما هو الفرق — من حيث المبدأ — فى الاهتزاز الذى يخشاه المهندسون فى نظم التحكم الاوتوماتيكية ، ورعشة الفرض التي يعانيها انسان مريض بتلف فى المخيخ ؟

ان الاجابة على هذا السؤال تكمن فى البحث فى المنطقة الواقعة بين ميدانى البيولوجيا والهندسة ، وهي منطقة كانت « **محايدة** » منذ نحو ثلاثين عاماً . ولم تكن فكرة البحث فى المناطق الواقعة بين الميادين المتوطدة للعلم شيئاً جديداً على فينر فى الوقت الذى توصل فيه ، مع زملائه ، الى النتيجة السابقة . فقد كتب فى كتاب « السيبرنطيقا » يقول :

« لسنين عديدة اشتركت مع الدكتور روزنبلوت فى الاعتقاد بان أخصب المجالات لنمو العلوم هي تلك التى كانت مهملة باعتبارها ارضاً محايدة بين الميادين المتوطدة المختلفة . فمنذ **ليبنتز** Leibnitz ربما لم يكن هناك انسان ملم بكل النشاط الذهني فى عصره . ومنذ ذلك الوقت اخذ العلم يتحول بشكل متزايد الى عمل المتخصصين فى ميادين تضيق باستمرار .. واليوم يوجد القليل من المتعلمين الذين يمكنهم ان يطلقوا على انفسهم اسم رياضيين أو فيزيائيين أو بيولوجيين بدون قيود . فقد يكون الرجل متخصصاً فى الطوبولوجيا (فرع من الرياضيات) ، أو الصوتيات (فرع من الفيزياء) ، أو فى الخنافس (فرع من البيولوجيا) ، وسيكون هذا الرجل ملماً بكل مصطلحات ميدانه ، عارفاً بكل ما كتب فيه وبكل فروعه ، ولكنه غالباً ما يعتبر الموضوع التالي شيئاً تابعاً لزميله الجالس خلف الباب الثالث فى الممر ، وان الاهتمام به سيكون اعتداء بدون أذن على شىء خاص .

« ان هناك ميادين للعمل العلمي استكشفت من الجوانب المختلفة للرياضيات البحتة ، وعلم الاحصاء ، والهندسة الكهربية ، والفسيولوجيا . وفى هذه الميادين أعطى لكل فكرة اسم منفصل من كل مجموعة ، كما اجرى كل عمل هام ثلاث اواربع مرات ، بينما تأجل القيام بعمل هام آخر لعدم الالمام فى أحد الميادين بالنتائج التي ربما تكون قد اصبحت كلاسيكية فى الميدان التالي .

« ان هذه المناطق الواقعة على حدود العلم هي التى تعطى اغنى الفرص للباحث المؤهل ، وهي فى الوقت نفسه أكثر ما تكون استجابة للطرق التي يقبلها الناس للمعالجة بالجملة وتقسيم العمل .. وقد كان الدكتور روزنبلوت يصر دائماً على أن الاستكشاف الملائم لهذه الفضاءات فى خريطة العلم لا يمكن أن يتم الا بواسطة فريق من العلماء ، يكون كل منهم متخصصاً فى مجاله ولكن ملماً الماماً سليماً بمجالات جيرانه ومتمرساً فيها .. وقد بقينا لسنوات نحلم بمعهد يضم علماء مستقلين يعملون معا فى هذه الغابات الخلفية للعلم ، لا كتابعين لضابط تنفيذى كبير ، بل مرتبطين بالرغبة فى فهم المنطقة ككل وفى اعارة كل منهم قوة ذلك الفهم للآخرين .

« لقد كنا على اتفاق بشأن هذه الآراء قبل ان نختار ميدان بحوثنا المشتركة ودور كل منا فيها .. »

السيبرنطيقا : علم التحكم والاتصال فى الحيوان والآلة :

كان **ڤينر** صديقاً للدكتور **ڤانيڤر بوش** Vannevar Bush وهو من أوائل المخترعين فى مجال العقول الالكترونية . ومن هذه الصداقة تولدت لدى ڤينر رغبة فى القيام بعمل فى مجال الحساب الالكتروني . وقد قام فعلاً بشيء غير قليل فى هذا المجال فى صيف سنة ١٩٤٠ .

على انه فى بداية الحرب العالمية الثانية ادى التفوق الجوى الألماني والمركز الدفاعى لبريطانيا الى جذب اهتمام العلماء الى محاولة تحسين المدفعية المضادة للطائرات . وقد جعل ذلك ڤينر يشترك فى البحوث اللازمة لتصميم جهاز اوتوماتيكي للدفاع الجوى يأخذ فى الحسبان حركات المراوغة للطائرة المغيرة . وقام ڤينر فعلاً بتصميم جهاز ميكانيكي كهربي « يتنبأ » بالحركة القادمة للطائرة بالاستخدام المستمر للتغذية المرتدة بالمعلومات عن وضع الطائرة .

وهكذا وجد ڤينر نفسه يشتغل مرتين بدراسة نظام ميكانيكي كهربي صمم لكى « يغتصب » وظيفة خاصة بالانسان . ففى المرة الاولى درس العقول الالكترونية التى تقوم بشكل معقد من العمليات الحسابية . وفى المرة الثانية صمم جهازا يقوم بالتنبؤ .

ولم يكن **ڤينر** يعمل وحده . وانما كان نواة لمجموعة من كبار المتخصصين فى مختلف ميادين العلم ، والطب ، والتكنولوجيا . وقد تعاونت هذه الجماعة لتنفيذ البرنامج الذى وضعه **ڤينر** مع **روزنبلوت** للبحث فى الارض المحايدة بين ميدانى الفسيولوجيا والهندسة ، والذى كان يدور حول **الاتصال والتحكم** (حيث **الاتصال** معناه تلقى وهضم المعلومات ، **والتحكم** معناه استعمال هذه المعلومات لتوجيه العمل فى نظام معين) وهما موضوعان اتضح للجماعة وجود صلة قوية بينهما. وفى هذا الصدد يقول **ڤينر** :

« وعلى مستوى هندسة الاتصال اصبح واضحا لمستر بيجيلو ولي ان مسائل هندسة التحكم وهندسة الاتصال غير منفصلة عن بعضها البعض ، وانها لا تتركز حول تكتيك الهندسة الكهربية وانما حول الفكرة الاساسية بدرجة اكبر وهي **فكرة ((الرسالة))** message **سواء نقلت بوسائل كهربية او ميكانيكية او عصبية))** (٤)

ولاتمام موضوع يتصل بنقل الرسالة قام **ڤينر وبيجيلو** بتطوير نظرية عن مقدار المعلومات amount of information (وهي فكرة طرات للكثيرين قبل ذلك) .

وهكذا وجد ڤينر وروزنبلوت والمجموعة التى تجمعت حولهما من العلماء والمهندسين ان هناك ((**وحدة جوهرية لمجموعة المسائل التي تتركز حول الاتصال والتحكم**)) سواء كانت فى الآلة أو فى الحيوان .

وفى صيف سنة ١٩٤٧ قررت الجماعة اطلاق اسم ((**السيبرنطيقا**)) cybernetics على ((**الميدان الكامل لنظرية التحكم والاتصال ، سواء فى الآلة أو الحيوان**)) . وقد كان ڤينر هو الذى صاغ اسم العلم الجديد اشتقاقاً من اللفظ الاغريقي القديم **kubernetes** ومعناه « رجل سكان السفينة » وهو الذى يقوم بتوجيهها والتحكم فى مسارها . وقد ذكر ڤينر فيما بعد انه لم يكن يعلم ان **اندريه امبير** Andre Ampere كان قد أطلق فى سنة ١٨٣٤ نفس الاسم على « علم

---

(٤) Wiener, N. : Cybernetics, Wiley (1948), P 8.

الحكومات)) او ((**علم السيطرة على المجتمع**)) . ومن الطريف أن افلاطون كان قد اطلق نفس الاسم ايضا على ((**علم توجيه السفن**)) قبل نحو ٢٣٥٠ عاما .

والآن دعنا ننظر الى ((**السيبرنطيقا**)) في ضوء تعريف ڤينر لها ، ومفهوم بعض من تلاه في الاشتغال بهذا العلم .

تعنى **السيبرنطيقا** الحديثة بدراسة عمليات **الاتصال** (أى تلقى المعلومات وهضمها) **والتحكم** (أى استعمال هذه المعلومات لتوجيه العمل في نظام معين) **في كل من الآلة والحيوان** (بما في ذلك الانسان) ، كما تعنى باكتشاف أوجه الشبه بين هذه العمليات في النظم البيولوجية ومثيلاتها في النظم الفيزيائية ، أى في النظم الحية والنظم غير الحية . ومن الأمثلة على نوع الشبه الذى يهم السيبرنطيقيين مقارنة نظام آلي للتحكم في اطلاق المدافع المضادة للطائرات ، بقط يصطاد فأراً ، حيث نجد ان كلاً منهما يتلقى معلومات عن هدفه النظام الآلي عن طريق الرادار ، والقط عن طريق بصره . وتتالف المعلومات في كل حالة من سلسلة زمنية احصائية هي سلسلة حركات الهدف في فترات زمنية متساوية متعاقبة ، ويحسب كل من النظام الآلى والقط ماذا يجب ان يفعل ليصيب الهدف . ويستعمل النظام الآلى « حلقة تغذية مرتدة » تقارن الاتجاه الحاضر للمدفع بالاتجاه المطلوب وتعمل على جعل الفرق بين الاتجاهين مساويا الصفر . وهناك ما يجعلنا نعتقد أن مخ القط يقوم بعملية حساب مماثلة مبنية على الخبرة السابقة . وفي النهاية يقوم كل من نظام التحكم الآلي والقط باصدار أوامر للقيام بالعمل الملائم : **النظام الآلي** عن طريق آلات الضبط ، **والقط** عن طريق تحكم اعصابه في عضلاته . ومن الأمثلة الاخرى على أوجه الشبه التى تهم السيبرنطيقيين مقارنة مخ الانسان وجهازه العصبي بآلة حاسبة كبيرة (كمبيوتر) لها « ذاكرة » لتخزين المعلومات ، ووحدة تحكم ، ووحدة معالجة مركزية .

وفى التكنولوجيا تهتم السيبرنطيقا في المقام الأول بكيفية التفاعل بين مكونات النظام تحت الدراسة وبسلوك هذا النظام ككل ، وتميل الى اهمال الافكار الكلاسيكية عن الطاقة والقدرة والكفاءة كأدوات للتحليل . وتشمل التطبيقات الهندسية السيبرنطيقية كلاً من التحكم فى القذائف الموجهة ، وتصميم الدوائر السمعية التي تعمل على التخلص من الضوضاء ، كما تشمل الكمبيوتر والانسان الآلي (الروبوت robot) . واليوم اخذ لفظ ((**سيبرنيشن**)) cybernation يحل محل لفظ ((**اوتوميشن**)) automation في الصناعة . (والذين زاروا المعرض التشيكوسلوفاكي في الكويت في العام الماضي لا بد انه استرعى انظارهم قسم « السيبرنطيقا » cybernetics الذى لم تخرج محتوياته عن أجهزة التحكم الآلي والاوتوميشن) .

وفى البيولوجيا تعنى السيبرنطيقا بطبيعة التوزيعات العصبية والعضلية المختلفة ، وبتصميم مبتكرات تقوم مقام الجهاز البصرى للعميان ، وبتحسين الأطراف الصناعية (ويشمل ذلك قياس الاثارات العصبية التي تدل على موضع طرف وايجاد طرق لمحاكاة تلك الاشارات) .

ويميل الكثيرون من علماء الاجتماع والاقتصاد وعلم النفس المعاصرين الى دراسة علم السيبرنطيقا مقتنعين بأن نظرية « الاتصال والتحكم » سيكون لها أكبر الأثر في بحوثهم عن السلوك فى المجالات الاجتماعية والاقتصادية والنفسية وستفتح الباب لايجاد وسائل تحسين السلوك في كل من هذه المجالات .

ويقول ((**فوستر**)) D. B. Foster المستشار البريطاني في الاوتوميشن : (٥)

« عندما قابلت ڤينر لاول مرة في سنة ١٩٦٠ في موسكو سألته لماذا اخترع مصطلح « السيبرنطيقا » وماذا كان يقصد أن يعنيه بالضبط . وقد كان جوابه : السيبرنطيقا كلمة اغريقية مركبة معناها فن رجل سكان السفينة واظن أن علينا أن ننظر اليها بهذا الشكل تماماً . انها تعنى بادارة العمليات والتحكم فيها ــ اى نوع من العمليات سواء سيكلوجية أو فيزيائية » .

كتاب ڤينر الكلاسيكي : ((السيبرنطيقا))

قلما عمل كل من كاتب وكتاب على ذيوع شهرة الآخر مثلما عمل ڤينر وكتابه ((**السيبرنطيقا: او التحكم والاتصال في الحيوان والآلة**)) (٦) . فماان ظهر الكتاب في سنة ١٩٤٨ حتى أصبح اسم العلم الجديد على لسان كل متعلم ، وانتقلت شهرة ڤينر الى ما هو ابعد بكثير من محيط دنيا الرياضيات والعلوم . وفي وصف ذلك الكتاب كتبت موسوعة حديثة للعلم والتكنولوجيا (٧) تقول : « لقد أعطى الكتاب تحليلاً رياضياً عميقاً للعلم الجديد ، وكذلك مضى يتنبأ بآثاره على شئون الانسان . وفي هذا الكتاب وجد المتعلمون أول معالجة جادة على أساس كمي لأفكار المصنع الاوتوماتيكي ، والعامل الآلي (الروبوت robot) وخط الانتاج الذى يتحكم فيه عقل الكتروني ، وافكار اخرى أصبحت منذ ذلك الوقت شيئاً مألوفاً » .

وقد صدرت طبعة ثانية للكتاب ، مع اضافات ، في سنة ١٩٦١ .

ولعل القارىء يأخذ فكرة عن محتويات الكتاب ، وعن موضوع علم السيبرنيطقا كما يراه ڤينر ، مما كتبه هو نفسه تعريفاً لعلم السيبرنطيقا في دائرة المعارف الأمريكية The Encyclopedia Americana, 1962 والذى نترجمه فما يلي :

((**السيبرنطيقا** كلمة صاغها نوربرت ڤينر لوصف « مركب العلوم » الذى يعالج الاتصال والتحكم في الكائن الحي وفي الآلة . وعندما أدخل ڤينر الكلمة ، وهي مشتقة من اللفظ الاغريقي Kubernetes ومعناه رجل سكان السفينة ، لم يكن يعلم أنها كان لها تاريخ طويل وانه سبق أن استخدمها اندريه أمبير قبل أكثر من قرن لكي تغطى الجانب الحكومي البحت لهذه النظرية عند تصنيفه الايجابي للنظريات العلمية . وقد دخل المصطلح الحديث بسبب الحاجة الى الوصف الشامل لمجموعة من الظواهر لها مجتمع حقيقي من الأفكار والطرق المناسبة للدراسة ولكنها تابعة لفروع من العلم قد اتفق على انها مختلفة .

« وتشمل السيبرنطيقا نظرية المعلومات وقياسها ــ وفكرة الاتصال كمسألة احصائية تلعب فيها الرسالة غير المرسلة دوراً مساوياً للرسالة المرسلة ــ ونظرية التنبؤ الاحصائي لسلسلة الحوادث الموزعة في الزمن ــ ونظرية العلاقة بين الرسالة والتشويش وفصلهما بوساطة مرشحات الموجات ــ ونظرية جهاز التحكم ، وتصميمه وتطبيقه في مبتكرات الضبط ــ والكمبيوترات الكهربية ــ

---

(٥) Rose, J. editor : **Survey of Cybernetics,** Iliffe (1969), P. 255.

(٦) Wiener, N. : **Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.** Wiley (1948, sec. ed. 1961).

(٧) McGraw-Hill, **Men of Science and Technology,** (1966).

والمصنع الاوتوماتيكي . وهي تشمل كذلك نظرية الجهاز الذى يحتفظ بالمعلومات فى نوع من « الذاكرة » والذى يكيف أداءه لكى يحسن كفاءته الذاتية بنوع من « عملية التعلم » ــ وتطبيق هذه الفكرة على الحيوانات الدنيا وعلى الانسان ومجتمعه لكي تشمل نظرية الجشطالت (الشكل العام) فى علم النفس . ومن الممكن توسيعها لتشمل دراسة الأجهزة الفيزيائية التي نتعرف بها على الجشطالت . ويتصل بها اتصالاً وثيقاً دراسة شبكات الاتصال ذات الصفات المتغيرة ، ودراسة الطريق التي تتحول بها هذه الشبكات الى الاتزان او شبه الاتزان فى الاداء .

« وقد طورت هذه المجموعة من العلوم خلال الحرب العالمية الثانية من الحاجة الى تجميع المواهب الرياضية والعلمية الاخرى للبحث فى مسائل التصميمات الحربية التي كانت حتى ذلك الوقت مما لا يُعتبر ذا طبيعة علمية . وقد كانت هذه الحاجة متصلة اتصالاً وثيقاً بالحاجة الى تنظيم عمليات معينة منها اسقاط الطائرات (التى كانت تفلت من أنواع التدخل البشرى الموجودة وتتلد بسبب سرعتها البالغة وتعقيدها) وذلك باستعمال مبتكرات اضافية اوتوماتيكية ، ميكانيكية ، أو كهربية . وهكذا ظهر الى الوجود ميدان للبحث لا يغطى مثل هذه الوسائل الآلية وحسب ، ولكنه يغطى كذلك نماذجها الأصلية : المخ والجهاز العصبي وقد عالج ڤينر هذا الميدان فى كتابه « االسيبرنطيقا : أو التحكم والاتصال فى الحيوان والآلة » (١٩٤٨) . وقد كان هذا الكتاب نتيجة لبحوث قام بها جوليان بيجيليو Julian Begelow والمؤلف اثناء الحرب على آلات التنبؤ الاوتوماتيكية للمدفعية المضادة للطائرات، ولاهتمام طويل الأمد بالآلات الحاسبة، ولأفكار معينة اقترحها ارتورو روزنبلوث Arturo Rosenblueth وتتعلق بالدور الوظيفي للعنصر البشرى فى نظم الدفاع الجوى الاوتوماتيكية التي يتدخل فيها الانسان .

« وقد أثار هذا الخليط من الفروع العلمية اهتمام فسيولوجيى الأعصاب ورجال علم النفس، ومهندسي الاتصالات . وهناك مقالات من كتابة كل هذه المجموعات يجب اعتبارها ذات طبيعة سيبرنطيقية بصفة رئيسية . وفى الرياضيات البحتة كان للسيبرنطيقا اكبر الأثر فى دراسة موضوع الاحتمالات . »

وهنا ذكر ڤينر المراجع التالية :

(١) Wiener, N. : Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine, (New York, Paris 1948).

(٢) Shannon, C. E. : The Mathematical Theory of Communication, and Weaver, W. : Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication, published in one Volume (Urbana, I11, 1949).

(٣) Wiener, N. : The Human Use of Human Beings, (Boston 1950).

(٤) Morse, P. M. and Kimball, G. E., Methods of Operation Research, rev. ed. (New York 1950).

(٥) Ashby, W. R. : Design for a Brain, (New York 1952).

(٦) Doob, J. L. : Stochastic Processes, (New York 1952)

تعاريف اخرى للسيبرنطيقا :

عرف ڤينر (وزملاؤه) السيبرنطيقا بأنهـا « **علم الاتصال والتحكم فى الحيوان والآلـة** » . ويقضي هذا التعريف بالنقطتين الآتيتين :

(**أولا**) **تقتصر** الاشياء التي تتكون منهـا النظم السيبرنطيقية **على الحيوان والآلات** .

(**ثانيا**) **لا تنظر** السيبرنطيقا الى هذه النظم **الا من وجهتى التحكم والاتصال** .

على أنه ظهر من تطور السيبرنطيقا فيمابعد ان تعريف ڤينر قد وضع قيودا على الموضوع الحقيقي لهذا العلم . وفيما يلي بعض الامثلة .

(١) **من جهة الاشياء التي تتكون منهـا النظم موضوع الدراسة** لا يشمل التعريف الموضوعات الاقتصادية والاجتماعية التي يظهر فيها أثر الاتصال والتحكم بشكل واضح تماما ، والتي أصبحت الآن ــ وبوجه حق ــ داخلة في ميدان السيبرنطيقا . كذلك لا يأخذ التعريف فى الاعتبار **النظم المجردة** abstract systems مثل **النظم الرياضية** mathematical systems **والنظم اللغوية** Linguistic systems التى تنطبق عليها قوانين السيبرنطيقا .

(٢) **من ناحية الوجهات التي ينظر منهـا الى النظم موضوع الدراسة** لا يأخذ التعريف فى الاعتبار الا اثنتين من العمليات المتعلقة بالمعلومات information وهما عمليتا **الاتصال والتحكم** . على انه يوجد عدد آخر من العمليات منها **تخزين المعلومات** information storage ، **ومعالجة المعلومات** information processing الخ . . وكل هذه العمليات ترتبط ارتباطا وثيقـا بالسيبرنطيقا ولا يمكن ادخالها فى اى فرع آخر من فروع العلم .

وقد أدى اتساع ميدان السيبرنطيقا عما رآه البعض فى تعريف ڤينر الى قيام محاولات عديدة لوضع تعريف اكثر شمولاً للعلم الجديد . وقد ظهرت نتيجة لذلك تعاريف اخرى اكثر طولاً وتعقيداً من تعريف ڤينر (٨) . على أنه لا يوجـد حتى الآن تعريف يلاقي قبولاً اجماعياً .

وفى هـذا الصـدد يقـول **بولانجيـه** R. P. Boulanger رئيس الاتحاد الـدولى للسيبرنطيقا ، (٩)

« يعالج ميدان السيبرنطيقا النظم ، الحية والجمادية ، التي يمكن تسميتها ذاتية التحكم عامة للكلمة . ويبدو لي أن التعريف الذى أعطاه ڤينر فى سنة ١٩٤٨ مازال هو الأحسن والأكمل » .

ويقول بولانجيه كذلك :

« ولكن ما هي السيبرنطيقا ؟ أو بالأحرى ، ما هو ماليس السيبرنطيقا ؟ فمن التناقض انه كلما زاد كلام الناس عنها كلما ظهروا أقل اتفاقاً على تعريفها . **فبالنسبة للبعض ، تعنى الكلمة اما نظرية رياضية معقدة أو مجـرد تكنيـك الاوتوميشن . وبالنسبة للبعض الآخر تستجلب**

---

(٨) See *e.g.* Klir, J. and Vallach, M. : **Cybernetic Modelling,** Iliffe (1967), PP. 65-69.

(٩) Rose, J. editor : **Survey of Cybernetics,** Iliffe (1967) chap. I.

الكلمة الكمبيوترات الجبارة او نظرية عمليـــات الاتصال . وتعتبر مدرسة اخـــرى للتفكير أن السيبرنطيقا وسيلة لدراسة التشابهات التي قدتوجد بين الآلات والكائنات الحية ، كما أن مدرسة اخرى تعتبرها عقيدة فلسفية لاكتشاف السر النهائي للحياة . اما بالنسبة لعامة الجمهـــور فانها بسيطة ، فهي تســـتجلب الاناس الآليين والكمبيوتر)) .

فروع السيبرنطيقا وتفرعاتها :

يقع ميدان السيبرنطيقا بين ميادين بعض الفروع المتوطدة للعلم مثل البيولوجيا والهندسة وحيثما حدث تداخل بين السيبرنطيقا وفـــروع العلم الاخرى نشأت فروع علمية جديدة .

ومن التداخلات الهامة مع فروع العلـــم الاخرى ذلك التداخـــل بين الســـــيبرنطيقا والرياضيات ، فكثيرا ما تستخدم السيبرنطيقا نظريات رياضية قائمة فعلا ، وليس من النادر أن يؤدي البحث السيبرنطيقي الى وضع أسس لاتجاهات رياضية جديدة . وتؤدي هذه الحقيقة احيانا الى الانطباع بان السيبرنطيقا فرع مـــن الرياضيات على أن ذلـــك غير صحيـــح ، فالسيبرنطيقا تستخدم موارد أخرى الى جانب الرياضيات .

وتتداخل السيبرنطيقا مع البيولوجيا الى درجة كبيرة . ويطلق على ميدان تداخل هذين الفرعين من فروع العلم اسم ((**بيوسيبرنطيقا**)) biocybernetics (السيبرنطيقا الحيوية) . ويتفرع من البيوسيبرنطيقا فرع من اكثر فروع العلم اهمية يتكون من ميدان تداخل السيبرنطيقا مع علم الأعصاب ويعرف باسم ((**نيورو سيبرنطيقا**)) neurocybernetics (سيبرنطيقا الأعصاب) .

ويوجد فى الوقت الحاضر أوجه مشتركـة بين السيبرنطيقا وكل من علـم النفس ، وطب الامراض العقلية ، وربما البيداجوجيـا (فـــن التعليم) . وتؤدي التطورات الحالية الى توقع البعض اكتشاف علاقات وثيقة بين السيبرنطيقا وتلك الميادين مما ينشأ عنه فرع جديد للعلـــم موضوعـــة ((**الســـيبرنطيقا النفســـية**)) psychocybernetics .

وتزحف السيبرنطيقا فى اتجاهات متعددة على العلوم الهندسية وخاصة عندما تحاول تقديم نظرية عامة لتصميم المبتكرات المختلفة الأنواع . وتوجد العلاقة بين الهندسة والسيبرنطيقا بصفة رئيسية فى ميدان آلات معالجة البيانـــــات والمعلومات (الكمبيوترات) ، والضبط (التحكم) الاوتوماتيكي ، وهندسة الاتصالات . ويطلق فى الوقت الحاضر اسم ((**السيبرنطيقا الهندسية**)) engineering cybernetics (١٠) علـى العلـم الناشىء من تداخل السيبرنطيقا مع الهندســة بمعناها الواسع . على ان الراجح ان يحدث تقسيم لهذا الفرع من العلم الى فروع جديدة .

ومـــن العلاقـات الهامة التي تتوطد بـين السيبرنطيقا والميادين الاخرى تلك العلاقة بينها وبـين **علـم اللغـات** linguistics . وتؤدي هذه العلاقة الى ظهور عدد من **المسائل النظريـة** ترتبط ، بصفة خاصـــة ، **بنظرية الاعـــلام** information theory بمعناها الواسـع كمـا يحدث فى موضوع ((**مقدار المعلومات فى اللغـة**)) وموضوع ((**فهم النصوص**)) الخ .. كذلك تؤدي هذه العلاقة أيضا الى ظهور كثير من المســـائل العملية مثل **الترجمة باستخدام الآلات** machine translation **والملخصات** abstracts **ولغة الاعلام** information language الخ ..

---

(١٠) يخلط احيانا بين ((السيبرنطيقا الهندسية)) والعلم المعروف باسم ((بيونيقا)) bionics وهو علم نشأ من تداخل البيولوجيا مع الهندسة وموضوعه تطبيق المبادىء البيولوجية فى الهندسة .

وهنا نقابل مسائل فى غاية الصعوبة لم يتحـــل اغلبها الا جزئياً . وما زال هذا الفرع من العلم فى دور التكوين ويمكن أن يطلق عليه اسم ((**اللغويات السيبرنطيقيـــة**)) cybernetic linguistics .

وللسيبرنطيقا اهمية كبيرة لكل من علـــم الاقتصاد وعلم الاجتماع . وفى هذا الصدد تقابلنا مسائل التحكم فى الاقتصاد الوطني والسيطـرةعلى المجتمع الواســـع . ويميل البعـض الـى استخدام اســـم ((**الاقتصـــاد السيبرنطيقي**)) cybernetic economy واسم ((**الاجتماع السيبرنطيقى**)) cybernetic sociology لفرعىالعلم فى هذين المجالين .

وتزحف السيبرنطيقا على فروع مختلفـةكثيرة من الطب . وهنا يهتم السيبرنطيقيون فى المقام الأول بالطرق الجديدة لتشخيص الامراض،وتصميم الاعضاء والاطراف الصناعية ، ووسائل الاثارة الكهربية الحيوية bioelectro-stimulation . ويحتوى هذا الميدان على مسائل تتعلق بالتحكـم فى عمليات البناء والهدم فى الخلية metabolism of cells . وفى هذا الصدد يأمـل البعض أن تشارك السيبرنطيقا فى الاستكشاف التفصيلي لأسباب السرطان ، كما تشارك فى اكتشاف طرق فعالة للوقاية والعلاج من أجل السيطرة على هذ المرض . ويطلق اسم ((**السيبرنطيقا الطبيـــة**)) medical cybernetics على ميدان تداخل السيبرنطيقا مع الطب .

آثار السيبرنطيقا فى العلم والتكنولوجيا :

ما زالت السيبرنطيقا فى بداية عمرهـــا . واذا كنا نقارن نموها بنمو الكيمياء مثلا فاننا نجد انها ما زالت فى الطور الذى وجدت فيه الكيمياءفى ايام لافوازييه اى فى آخر القرن الثامن عشر ، عندما كف المشتغلون بها عن شغل انفســـــهم بالتخمينات ، وبدءوا يكرسون انفسهم للعمـــل التجريبي الدقيق ، واكتشفوا بعض القوانـــين الكيميائية الاساسية .

وبالرغم من صغر عمر السيبرنطيقا فقدأحرزت حتى الآن نتائج باهرة وأثرت فى تطـــور فروع أخرى كثيرة من العلم . ففي البيولوجيـــامثلا ادت السيبرنطيقا الى ادراك أعمـــق لبعض وظائف الكائنات الحية كالاحساس والتحكم فى المزاج . كذلك شاركت السيبرنطيقا فى ظهــــور فروض جديدة كثيرة بشأن تفسير الوظائف التي لم يتم بحثها الى الآن مثل نظرية الذاكـــــرة ، ووظيفـة الخلية العصبيـــة ، وشبكات الخلاياالعصبية،وشفرة المعلومات فى الخلية الجرثومية. كذلك تأثرت بعض الفروع الجديدة للرياضيات تأثرا عميقا بالسيبرنطيقا مثلما حدث لنظـــرية **الاعلام** ، ونظرية **الآلات ذاتية الحركة** automata **ونظرية الالعاب** game theory . ومن جهة اخرى نجد ان التكنولوجيا اخذت تستخدم اســـاليب جديدة طورتها السيبرنطيقا . ومن ذلك مثـــلا طرق جديدة لتوصيل المعلومات ، وانظمة ذات سلوك هادف مبنى على التجربة ، وانظمة ذاتية التنظيم .

ڤينر والد السيبرنطيقا (١٨٩٤ ـ ١٩٦٤) :

عندما مات **نوربرت ڤينر** فى مدينة استوكهولم بالسويد فى ١٨ مارس ١٩٦٤ عن عمر يقرب السبعين عاماً علم الناس بوفـــاة ((والــــــدالسيبرنطيقا)) . وبعد ذلك بقليل تألفت لجنـــة لتخليد ذكراه ، اعترافاً بفضله . وقد توجت جهودها بأن ظهر فى سنة ١٩٦٩ بعد نحو خمس سنوات من وفاة ڤينر ، كتاب من ٣٩١ صفحة اشترك فى كتابته عشرون من كبار المتخصصين فى المواضـــيع السيبرنطيقية فى المملكـة المتحـدة ، والولايات المتحدة الامريكية، والاتحاد السوفيتى.

وبلجيكا ، وهولندا ، وتشيكوسلوفاكيا ، اذيحتوى الكتاب على مقدمة و ١٩ فصلاً كتب كلاً منها كاتب مستقل . *

ولد نوربرت فينر فى ٢٦ نوفمبر ١٨٩٤ فىالمدينة الجامعية كولومبيا (بولاية ميسورى) بالولايات المتحدة الأمريكية وكان والده استاذاللغات السامية فى هارفارد . وظهرت عبقرية نوربرت منذ البداية . فقد حصل علىالبكالوريوس وعمره ١٤ سنة ، وعلى الدكتوراه فى الفلسفة من هارفارد وعمره ١٩ سنة ولم تقفدراسته عند هذا الحد ، فقد درس بعدئذ فى كمبردج وجوتنجن . وقام بالتدريسفى هار فاردوجامعة مين قبل أن يلتحق فى سنة ١٩١٩ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا ، MIT. ، وهواشهر معاهد التكنولوجيا فى أمريكا ، حيث بقي يدرس الرياضيات ويقوم بالأبحاث ويشارك فيهافى ميادين العلم المختلفة حتى اعتزل الخدمة كاستاذ للرياضيات فى سنة ١٩٦٠ . وقد كتبفينر ٢٠٠ بحث فى مجلات الرياضيات والعلوم المختلفة وألف ١١ كتاباً فى مواضيع متعددة . وبالرغم من انه كان من أكبر الرياضيين الذين عرفهم العالم فانه كان كثير التفكير فى المواضيعالانسانية . وقد جاهد كثيراً لكي يلفت انظار القياداتفى المجالات الصناعية والعمالية والحكومة(فى امريكا) الى آثار السيبرنطيقا فى الانتاج ، والعمالة ، والقانون . ومنح المدالية الوطنية (الأمريكية) للعلم فى سنة ١٩٦٣ .

مآخذ على السيبرنطيقا والسيبرنطيقيين :

يأخذ البعض على السيبرنطيقا أنها ، كماهو الحال مع الفلسفة ، تغطى ميادين واسعة مما لا يجعل فى امكان الباحث أن يتعمق فيها جميعاً . لذلك نجد أحياناً استعلاء من متخصص عندما يجد الفيلسوف أو السيبرنطيقي يتكلم عن شيءفى ميدان اختصاصه هو .

وكذلك يأخذ البعض على السيبرنطيقا انهاكثيراً ما تعالج شيئاً من المواضيع على أنها جديدة، بينما هى فى الواقع معروفة تماماً،وكل ما فى الأمرانها تقعفىالميدان الذى تشمله النظرية العامة لهذا العلم الجديد .

وحتى فينر نفسه لم يسلم من الهجوم ففيالمقال الذى كتبه **جـري وولتر** فى كتاب Survey of Cybernetics السابق ذكره نجد انه ، بالرغم من الكثير من المديح ، يقول :

« ... وقد وقف فينر من المسائلالبيولوجية والاجتماعية والسياسية موقفاً جذرياً وبناء ، ولو انه لم يكن مجرد موقف مادي. على أنه فى بعض فروضه وتخمنياته النظرية كان يبدو أصما بالنسبة للمشاهدات والضرورات العملية .

« ان هذه الثغرة الخاصة بين النظريةوالتطبيق هي سمة للسيبرنطيقا ، وربما فسرت سوء السمعة التى تراكمت حول هذا الاسم . فكثيراً ما أدى تحليل سيبرنطيقى الى مجرد تأكيد

---

* اشيد فى الغلاف الداخلى للكتاب بفينر بالكلمات التالية :

Survey of Cybernetics

A TRIBUTE TO DR. NORBERT WIENER

A VOLUME DEDICATED TO THE MEMORY OF THE „ FATHER " OF CYBERNETICS

DR. NORBERT WIENER (1894-1964).

أو وصف لظاهرة فى البيولوجيا او الهندسة ــ ونادراً ما تنبأت نظرية سيبرنطيقية بوجود ظاهرة جديدة أو فسرت ظاهرة . وربما كان الفسيولوجيون بصفة خاصة حساسين للمبالغة فى ادعاءات السيبرنطيقيين ، فقد كانوا (الفسيولوجيون) يفكرون فى « التغذية المرتدة » أى « الفعل الانعكاسي » reflex قبل أن يبدأ الرياضيون أو المهندسون فى رسم الأسهم الموجهة حول « صناديقهم السوداء » بزمن طويل . وفى الغرب يقترن مصطلح « الفعل الانعكاسي » عادة باسم شرنجتون Sherrington . على أن معظم الأفكار المتقدمة (فى هذا المجال) نشأت فى روسيا بعد نشر سيخينوف I. M. Sechenov فى سنة ١٨٦٣ لكتابه « انعكاسات المخ » Reflexes of the Brain فى موسكو . ومـا زالت الملاحظات والتخمينات فى ذلك الكتاب تقدم تحدياً للتجربة بالرغم من أن معظمها قد تأكد باستخدام تكنية اكثر تقدماً بكثير مما فكر فيه سيخينوف . ويدين التقدم فى صناعة الأدوات instrumentation بدرجة كبيرة للأفكار الحديثة فى الالكترونيات والحساب الآلي ، ولكن المعالجة النظرية ما هي الا بادئة فقط فى التطور من الحالة التي صنف فيها سيخينوف الانعكاسات الى «بحتة،او عاطفية او نفسية » pure, passionate or psychic ومن مواضيع النقد الاخرى للسيبرنطيقا (وهي مواضيع توجد ضمناً فى الدراسة الكلاسيكية للسلوك ، وصراحة فى رفض المقارنة الساذجة بين الحيوان والآلة) ان النظم الحية تبدى درجة ما من النشاط النابع منها . وفى سلوك الحيوانات الكاملة نجد ان الاستكشاف علامة مميزة مشتركة يسميها بافلوف انعكاس « اذهب واكتشف » Go and find out reflex أو انعكاس « ما هو الأمر ؟ » reflex What is it ? . . . »

والجدير بالذكر أن وولنر نفسه من كبار المشتغلين بالسيبرنطيقا ، وله دور كبير جداً فى فرع سيبرنطيقا الأعصاب .



٢ ــ الآلات السيبرنطيقية والسيبرنيشن

المقارنة بين الحيوان والآلة :

يقول **بولانجيه** فى الفصل الأول من كتاب Survey of Cybernetics

« منذ فجر الزمن تمسك ذهن الانسان بالاعتقاد بان هناك فرقاً اساسياً بين صفات المادة الحية وغير الحية . وهذا بالضبط هو الاعتقاد الذى هاجمته السيبرنطيقا رأساً بشجاعة تساندها وتغذيها انتصاراتها الاولى .

« دعنى اعطى مثالاً حياً .

انا نشعر جميعاً بان هناك فرقاً جوهرياً بين سلوك حيوان متوحش يصطاد فى الغابة عند حلول الليل وسلوك حجر يتدحرج على جانب جبل . فحركة الحجر تحكمها قوانين فيزيائية يعرفها الجميع ، بينما حركات الحيوان تبدو غير مقيدة بهذه القوانين ، فالحيوان يشرع من أجل هدف . انه يخرج لاقتناص فريسة . وهو يصل الى غرضه بالرغم من العقبات فى طريقه ، وذلك ــ فى اعتقادنا ــ بفضل درجة معينة من الاستقلال عن البيئة ، ودرجة من حرية العمل ، لا تتوافران للحجر الساقط . فسلوك الحيوان يكون لهدف ، فى حين أن سلوك الحجر ليس كذلك . وقد بقي الانسان يرى ، فى هذا العامل ، الفرق الجوهرى بين الحي والجماد ، بين الحيوان والآلة .

« ويكاد لا يكون من الضروري أن نقول ان هذه النظرية قد عفى عليها الزمن . فمهندسونا يبنون — وقد بقوا يبنون لبعض الوقت — آلات ذات سلوك هادف ، آلات يمكنها أن تتبع وتحقق اهدافاً قد حددت مقدماً . ومثال بسيط على ذلك : الفرن الكهربي الذي يتحكم في درجة حرارته ثرموستات . ومثال آخر : الطيار الاوتوماتيكي . ومثال ثالث : القذيفة الموجهة عن بعد ، والتي تحتاج فقط الى التصويب في اتجاه تقريبي للطائرة المطلوب اسقاطها .

« انه لشرف دائم لعالم الرياضيات الأمريكي نوربرت ڤينر انه راى العلاقة بين السلوك الهادف للآلة والسلوك الهادف للحيوان ، وأنه كان أول من قال بوضوح اننا اذا لاحظنا امثلة للسلوك الهادف في الطبيعة (أى السلوك الموجه نحو هدف محدد من قبل) ، واذا كنا قادرين على بناء آلات يمكنها السلوك بنفس الطريقة ، فان المبادىء الأساسية لكليهما متطابقة . ان ما نعالجه في الحالتين هو نتيجة تقوم برد فعل على السبب الذى أنتجها ، الا وهي التغذية المرتدة .

« وما ان قبل الناس هذا التشابه حتى كان من المغرى أن يفترضوا ، كما فعل ڤينر ، أن السلوك الهادف — سواء كان من المادة الحية أو الجماعية — يجب أن يدرس من نفس الاطار . وفي ذلك اليوم ولدت السيبرنطيقا »

فهل وقع بولانجيه في « مطب » المقارنة الساذجة بين الحيوان والآلة ، ذلك المطب الذى اشار اليه وولتر في كلامه عن مواضيع نقد السيبرنطيقا ؟ اننا لو قرأنا كلام بولانجيه بامعان فلن نجد انه نفى وجود علامات مميزة في سلوك الحيوان ، كما لم ينف وجود درجة ما من النشاط يبديه الحيوان وينبع منه . ان ما يشير اليه بولانجيه هو قبول الناس للتشابه بين مبادىء كل من السلوك الهادف للحيوان والسلوك الهادف للآلة . وعلى اي حال ، أليس الانسان هو الذى يعطى الآلة سلوكها الهادف ؟ واذا كنا نشك في تفسير كلام بولانجيه على هذا الأساس فبماذا نفسر كلام وولتر نفسه عندما يقول : (١١)

« اذا علمنا خواص عديدة لنظام ما ثم انشأنا ابسط نموذج يمكن أن تكون له هذه الخواص فانه يكون من المسموح لنا أن نفترض أن النظام الأصلي يحتوى على مكونات يمكن مقارنتها بتلك الموجودة في النموذج » .

ويقودنا هذا الكلام الى البحث عن خواص الكائن الحي التي لا يمكن وجودها في أى نموذج غير حي . لقد ذكر وولتر احدى هذه الخواص عندما قال : « ان النظم الحية تبدى درجة ما من النشاط النابع منها » . وهذا هو أحد الفروق الأساسية بينها وبين الجماد . ومن الفروق الأساسية الاخرى أن جزيئات المادة الحية يمكنها أن تتكاثر في بيئة معادية . ويذكرنا ذلك بقصة تحكى عن الفيلسوف والرياضي الفرنسي **ديكارت** . فقد قيل انه عندما ذهب الى البلاط السويدى أخذ يشرح للملكة نظريته عن التشابه بين الحيوان والاوتوماتون (الآلة التي تقوم بعمل من أعمال الحيوان) . ولكن الملكة أفحمته بقولها ، وهي تشير الى ساعة حائط : « دعها اذن تنجب لنا بعض الذرية » .

ويجرنا هذا الكلام بدوره الى قصة الاوتوماتون الذى « يستطيع صنع مثيل له » أو

---

(١١) Fuchs, W. R. : **Cybernetics for the Modern Mind,** Macmillan, New York (1971) P. 329.

الذى « يستطيع الانجاب » والذى وضع تصميمه عالم الرياضيات الكبير **جون فون نويمان** John von Neumann (١٩٠٣ ــ ١٩٥٧) . ومن خواص هذه الآلة العجيبة انها تستطيع أن تحسن نفسها من « جيل » الى « جيل » باتخاذ تركيب متزايد فى التعقيد . ومع أن هذه الآلة لم تصل بعد الى مرحلة الصنع فان صنعها ممكن نظرياً . ولكنها تتكون من ٢٠٠٫٠٠٠ عنصر وليس هناك من يقبل الانفاق على صنعها لمجرد مشاهدتها « تنجب » جيلاً آخر عندما تقدم لها العناصر اللازمة . وتتضمن هذه الجملة الأخيرة الفرق الجوهرى بين انجاب اى كائن حي وانجاب هذه الآلة التي يصفها العالم السوفيتي **بوليتايف** I. A. Poletaiev بقوله (١٢) :

« تتلقى الآلة معلومات الادخال المكتوبة على سلسلة من عناصر الآلة نفسها . ويمكن أن يسجل فى البرنامج أى عملية مرغوب فيها باستعمال الأجزاء التي تحيط بالآلة وكذلك المواد الخام .

« ويمكن للآلة ان تقوم بتنفيذ اى خطة تتمشى مع البرنامج . ولكي تعيد الآلة بناء نفسها يكفى أن يسجل فى البرنامج بناء صورة طبق الأصل منها ، وعمل نسخة من البرنامج ، ونقل البرنامج الى الآلة الجديدة ووضعه موضع التنفيذ وفق البرنامج » .

ويمكن لعملية اعادة انتاج الآلة لنفسها أن تستمر طالما يوجد مواد جديدة وغذاء (رصاص وترانزيستورات ، الخ) وطالما كانت « ذرية » هذه الآلة لا توجد فى طريق بعضها البعض . ويذكر بوليتايف الفرق بين هذه الآلة والكائن الحي بقوله :

« ليس للكائن الحي تركيب ثابت . فتركيبه وعمله يتغيران باستمرار مع النمو والتطور وتراكم الخبرة . أما الآلة فانها لا تعيد بناء أجزائها ، ولا تزيد عدد مكوناتها . وينقصها عملية بناء وهدم الخلية metabolism بالرغم من أن تركيبها يتغير أثناء عملها وانه يمكن لمبتكرات التحكم ان تستبدل عناصرها . وبعكس المخلوقات الحية لا تذهب الآلة للبحث عن الطعام ، أي المواد الخام . ولذلك فانه لا يمكنها أن توجد بدون مساعدة الانسان » .

وليس الفرقان اللذان ذكرهما بوليتايف بين الكائن الحي وآلة فون نويمان (التي تستطيع الانجاب) هما كل شيء . فقد يكون من الممكن تعديل تصميم هذه الآلة بحيث تستطيع تغيير تركيب نفسها وبحيث تقوم من تلقاء نفسها بالبحث عن المواد الخام . ولكن هل سينبع شيء من ذلك منها ، أم سينبع من « فون نويمان » آخر يقوم باجراء التعديلات اللازمة فى التصميم ؟

ولا يحتاج المرء أن يقول انه بالرغم من ان السيبرنطيقا قد جعلت فى امكان البيولوجيين والتكنولوجيين أن يتحدثوا بلغة واحدة فى أمور كثيرة فانه مما لا شك فيه أن « الحياة » قد بقيت محافظة على اسرارها . وكل ما نجحت فيه السيبرنطيقا هو تحديد هذه الأسرار .

الانسان الآلي (الروبوت) : robot

تأتي كلمة روبوت من الكلمة التشيكية القديمة robotnick ومعناها خادم أو عبد . وقد أدخلها فى اللغات الحديثة الكاتب التشيكي **كاريل كابيك** Karel Kapek عندما ألف فى سنة ١٩٢٢ رواية R.U.R. (وهي الحروف الاولى من Rossum's Universal Robots) . وفى هذه الرواية تقوم

---

(١٢) ibid, p. 33.

الآلات ــ التي يصنع منهــا « روصوم » أعــداداكبيرة جداً ــ بكل الأعمال فى العالم . وفى مبــدأ الامر يسير كل شيء على ما يرام وتتحقق كــل احتياجات ومسرات البشر طالما أن آلات الروبوت ليس لها احساساتها الخاصة بها . وفى يوم من الأيام يقرر مدير مصنع هذه الآلات أن ينتج نوعاً أعلى منها يكون لها احساسات الانسان بالسعادة والألم . وعندما يحدث ذلك تثور الآلات الروبوت على أسيادها الآدميين وتحطم كل البشر .

على أن الروبوت او الاوتوماتون الحديث ، ليس ذلك الشيء الخيالي ، فى نظر العلم على الاقل (فما زال بعض كتاب القصص الخرافية يملأون قصصهم بآلات الروبوت ذات الأحاسيس والنفوس الشريرة) . وفى السيبرنطيقــا يعرف الروبوت (الانسان الآلي) كما يلي :

الروبوت (أو الاوتوماتون automaton) هو آلة يمكنها اداء سلسلة من الأفعال يقــرر الفعل التالي بعد كل منها ، بدون ابهام ، امــا حسب نتائج الافعال السابقة ، أو حسب البيانات التي تستقبل من المناطق المحيطة (بمــا فى ذلــك أى مولدات للتشويش) ، أو حسب الأمرين معاً .

فالقرار الــذى يتخذه الاوتوماتون يتوقف على واحد على الاقل من الامرين التاليين :

١ ــ نتائج الأفعال السابقة للاوتوماتون .

٢ ــ البيانات التى يتلقاها الاوتوماتون مــن المناطق المحيطة .

على أنه قد يتوقف كذلك على :

٣ ــ الصدفــة .

وفى الاوتوماتون الحاسبة الصرفة (الكمبيوترات) تسود الحالــة الاولى . وفى الاوتوماتونات التــي يكون عليها أن تقوم بعملية تحكم يوجد خليط مــن الحالتين الاولى والثانية .

ومن الأمثلة على الاوتوماتونات التي يكون فيها للصدفة ميزة كبيرة نذكر الطيار الاوتوماتيكي لطائرة حربية ، فكلما قل امكان التنبؤ بحركاتها ، كلما صعب اصابتها .

قدرات الروبوت وحدودها :

تحت عنوان بهذا المعنى كتب الدكتور **شــو** J. F. Schuh من شركة فيليبس بهولاندا مقالاً انهاه بالملاحظات الآتية : (١٢)

« ان ما حاولت أن اوضحه فيما سبق هو أن كل الأفعال ، والوظائف ، والعمليات ، الــتي يمكن اعطاء تعليمات غــير مبهمــة بشأنهــا يمكن للاوتوماتون أن يقوم بها . على أن هذه هي كل الأفعــال ، والوظائــف ، والعمليات التي يمكــن للاوتوماتون أن يقوم بها ، أي التى يمكن وضــع برامج لها يستطيع الاوتوماتون أن ينفذها .

« وفى الوقت الحاضر يتقدم فن البرمجــة تقدماً لا باس به . فعلى سبيل المثال اســتفرف

(١٢) Rose, J. editor, **Survey of Cybernetics**, Iliffe (1967) chap.3.

أحد الاوتوماتونات دقائق قليلة لكي يثبت ٢٠٠ نظرية من كتاب : Whitehead and Russell's Principia Mathematica وبعض هذه البراهين أحسن من البراهين المعروفة .

« على أنه توجد لمقدرة الروبوت حدود خاصة . فعلى سبيل المثال نجد انه لم يُصنع الى الآن اوتوماتون يستطيع أن يجارى فرازاً بشرياً عادياً للبريد فى قراءة العناوين المكتوبة باليد . كذلك لم يُصنع أي اوتوماتون يستطيع أن يترجم قطعة فرنسية صحيحة القواعد الى قطعة انجليزية صحيحة القواعد .

« ولنرجع لحظة الى الاوتوماتون الذي يستطيع أن يبرهن النظريات . ان السؤال الذى يفرض نفسه فى الحال هو ما اذا كان من الممكن صنع اوتوماتون يستطيع أن يكتشف نظريات ، وهو شيء آخر تماماً . ولتوضيح ذلك ، خذ هندسة **اقليدس** . اننا اذا بدأنا من مسلمات (بديهيات) هذه الهندسة فانه يجب من الوجهة النظرية ، أن نجد حتماً كل نظرياتها بان نربط هذه المسلمات فى كل التوافقات الممكنة باستخدام كل قواعد المنطق المعروفة . على انه على الفور يثار السؤال : كيف يستطيع الاوتوماتون وحده أن يجد المسلمات ؟ واذا مررنا على هذا السؤال المثير للحرج ، وافترضنا اننا اخبرنا الاوتوماتون بهذه المسلمات ، فانه قبل أن يصل الاوتوماتون الى نظرية « **باسكال** Pascal » على القطاعات المخروطية مثلاً سيكون عليه أن يبحث فى «شجرة» من الامكانيات لها من كثرة الفروع ما يجعل مواد الكون كله غير كافية لبناء ذاكرة ذات سعة كافية لتخزينها . وبالاضافة الى ذلك . فان البحث المنظم فى هذه الشجرة سيأخذ وقتاً يزيد على عمر الكون . وذلك لأن الشجرة تحتوى على مالا يمكن عده من الفروع ذات «النهايات الميتة» كما أنه لا يمكن ـ فى الوقت الحاضر على الأقل ـ أن يعطى الاوتوماتون وسيلة للتعرف على هذه الفروع عند بداياتها . وما زال من اسرار الحياة كيف أمكن قادة العلم ان يفعلوا ذلك ، ولكل شخص الحرية فى أن يحذو حذو عالم الاقتصاد البريطاني الكبير **آدم سميث** (١٧٢٣ ـ ١٧٩٠) ويفكر فى « يد خفية » تقوم بالارشاد .

« ان ما ظهر بشكل واضح مما سبق هو أن بعض الوظائف التي نعتبرها ذات طبيعة بدائية وبعيدة عن أن تكون ذهنية هي فى الواقع أصعب بكثير على « الأتمتة » من بعض الوظائف الاخرى التى نعتبرها ذهنية نموذجية . وانه من المدهش حقاً انه يمكننا تصميم اوتوماتون يمكنه ان يلعب الشطرنج أحسن مما يستطيع أي لاعب بشرى جيد ، ولكننا عاجزون عن تصميم اوتوماتون قارىء يستطيع أن يفعل أي شيء مما يقوم به فراز بريد عادى .

« انه يبدو لي أن السبب فى هذا التناقض الظاهرى هو أننا نعرف ، فى الوقت الحاضر على الأقل ، من المبادىء التي على أساسها نلعب الشطرنج أو نبرهن النظريات أكثر مما نعرف من المبادىء التي على أساسها نتعرف على الاشكال ، ونضع أفكارنا فى كلمات الخ . . ويعود هذا الجهل الى أننا نقوم بالوظائف الأخيرة عند مستوى ما من عدم الوعي ، كما أنه لا يمكن الوصول اليها من الداخل . ان التفكير العلمي ، وخاصة التفكير الخلاق ، يحدث فى جزء كبير منه ، وربما فى معظم أجزائه ، بعدم وعي منا . **وهذه الوظائف التي نقوم بها بدون وعي هي التي لم يُصنع أى اوتوماتون مرضى للقيام بها** » .

الاوتوميشن والسيبرنيشن :

يمكن تعريف « الاوتوميشن » بانه « تطوير العملية الصناعية لكي يصبح التحكم الاوتوماتيكي

فيها متمشياً مع البيانات المتعلقة بالعملية ، وغيرمحتاج الى تدخل الانسان الا للاشراف النهائي ».
ويتضمن ذلك التطوير فى درجاته العليا استخدام الكمبيوتر الالكتروني . وسوف نجارى بعض الاتجاهات الحديثة ونطلق لفظ « السيبرنيشن Cybernation » على عملية الاوتوميشن فى هذه الدرجات .

ومن أهم ما يعنى بـه الاوتوميشن ، اوالسيبرنيشن : « التخلص على قدر الامكان من القوى أو العوامل المختلفة التي لو تركت وشانها لاختلف الانتاج النهائي بدرجة ما عن المواصفات المطلوبة » . ويمكن تقسيم تلك العوامل الى سبعة اقسام رئيسية هي :

١ ـ العوامل المتعلقة بالمواد الخام مثل احتوائه على شوائب ، أو نقص فى أحد مكوناته ، أو عدم ثبات نسب هذه المكونات .

٢ ـ التغيرات الجوية (مثل تغيرات درجة الحرارة او الرطوبة او الضغط الجوى) اذا كانت مما يؤثر فى سير العملية .

٣ ـ التغيرات التي تحدث للطاقة المستخدمة فى العملية (سواء كانت طاقة حرارية او كهربية الخ) .

٤ ـ البلى أو التآكل الذى يصيب آلات الانتاج .

٥ ـ اخطاء الانسان ونسيانه .

٦ ـ عدم الكفاءة الناتج من الاهمال .

٧ ـ الاضطراب المتراكم الناتج من الاهمال .

ولمواجهة هذه العوامل ، أو ما يوجد منها متدخلاً فى سير العمل ، فان عملية الاوتوميشن ، أو السيبرنيشن ، قد تتضمن الخطوات أو الأشياء الآتية :

أ ـ القياس الاوتوماتيكي و «**اشارات العملية**» Process Signals **للابلاغ عما يحدث** .

ب ـ «**اشارات الأوامر**» Command Signals **وهي أوامر تغطي العملية ككل** وليس من الضرورى أن توضح كيف تتم تفاصيل العملية .

جـ ـ الكمبيوتر الالكتروني المركزى الذى يقوم باستقبال « اشارات العملية » التي تبلغ عما يحدث ، و « اشارات الأوامر » التي تغطي العملية ككل . والوظيفة الرئيسية لهذا الكمبيوتر هي تقرير كيف ومتى يحدث التحكم فى العملية ، ثم اصدار تعليمات التحكم اللازمة .

د ـ اثارة التشغيل actuation وهي تحويل تعليمات الكمبيوتر الى عمل فعلي .

ويمكن تقسيم نظم الاوتوميشن الى عدة اقسام أهمها ثلاثة هي :

١ ـ نظم التغذية المرتدة ، وقد سبق الكلام عنها .

٢ ـ **نظـم التغذية الى الأمـام** feedforward systems ، وهي نظم تحتوى على درجة من العشوائية من جهة كمية ونوعية مواد الادخال، ولا يفيد فيها اشارات التغذية المرتدة حيث تأتى بعد فوات الأوان . ولذلك فانـه فى هـذه النظم تأتي « اشارات العملية » من الادخال لكي يعمل التحكم على التصحيح اللازم لكمية ونوعية موادالادخال. (مثال ذلك أنه فى احدى الصناعات يلزم أن تكون الرطوبة فى المواد الخـام ١٠٪ فى بعض الحالات والا تزيد نسبة القلويات عن حد معين . ولذلك يلزم اجراء بعض التحاليل على المواد الخام باستمرار واعطاء « اشارات العملية » متضمنـة البيانات اللازمة) .

٣ ـ **نظم برامج الأوامر** command programmed systems وفيها لا يحدث ارسال «اشارات العملية» بصفة رئيسية مـن الادخال ، ويتكون برنامج الأوامر من سلسلة من التعليمات ، ومن الامثلة على هذا النوع من النظم المخرطة الميكانيكية التي تستطيع صناعة عدة آلاف من الاجزاء المختلفة حسب طريقة اقامة المخرطة والتعليمات الصادرة اليها من البرنامج . ويحتاج ذلك بطبيعة الحـال الى مبتكرات لاعطاء اوامر البرنامج (مثل البطاقات او الشرائط المثقبة) .

تباطؤ الارتفاع فى درجات السيبرنيشن :

ان الأساس الجوهرى للسيبرنيشـن ، أو الأوتوميشن ، هو التحكم . ويبدأ الأمر باستخدام التحكم فى أمور بسيطة ، مثل تحريك المواد ووضعها فى الأماكن المطلوبة ، ومن ثم تداولها . وقد يتبع ذلك قطعها وتشكيلها وتجهيز مكونات بسيطة منها، واجراء بعض القياسات والاختبارات عليها، ثم تجميعها . وباستخدام أدوات بسيطة يتحكم فى عملها أشرطة مثقبة وأدوات قياس الكترونية ، ثم بتصعيد الأتمتة باستخدام أدوات تحكم يتحكم فيها ، بدورها ، التغذية المرتدة وهكذا ، قـد تستطيع التكنولوجيا بناء أنواع من المصانع هى فى الواقع آلات تقوم بصنع آلات ومنتجات على درجة عالية من الدقة . وعاما بعد عام يزداد وضوح تصورنا لامكان وجـود مجتمع صناعى لا يكاد يوجد فيه عمال صناعيون .

على أن المشاهد أنه حتى أكثر الدول الصناعية تقدما تتحـرك ببطء ملحوظ نحـو الأتمتة الكاملة . ولعل ذلك يعود الى سببين :

السبب الأول أنه كلما زادت درجة الأتمتة تصاعدت التكاليف بدرجة أكبر ، وذلك مع عدم وجود تنظيم يسمح باسترداد التكاليف الزائدة بالكامل . فاذا أدى ارتفاع درجة الأتمتة الى زيادة الانتاج الى عشرة أمثاله مثلا ، فهل يكون من الممكن بيع كل الانتاج ؟

والسبب الثانى أن الأتمتة تـؤدى الى الاستغناء عن عدد كبير من العمال. فاذا زادت درجة الأتمتة عن حد معين فهل يمكن ايجاد أعمال لكل العمال المستغنى عنهم ؟

الكمبيوتر فى الادارة :

فى كتاب Survey of Cybernetics فصل عن « سيبرنطيقا الادارة » كتبه الدكتور **كروفورد** جاء فيه :

يقول ڤينر فى كتاب **The Human Use of Human Beings** :

« ... وأي استخدام لواحد مـن البشر ينسب اليه فيه ما يقل عن مكانته ما هو الا حط من القدر وتبديد . انه لما يحط من قدر الانسان أن يربط الى مجداف ويستخدم كمصدر للقوة ،

ولكنه يكاد أن يتساوى مع ذلك من حظ القدر أن يكلف الانسان بعمل (فى مصنع) يكون تكرارياً بحتاً ولا يتطلب منه الا اقل من جزء من مليون من قدرته الذهنية » .

« وفى سنة ١٩٦٩ ليس الانسان فقط هو ما حظ من قدره ، ولكن ذلك حدث أيضاً للكمبيوتر . لقد اشترت بعض المؤسسات هذه الآلات بدون فكرة كافية عن استخداماتها . ومن المؤكد أن البعض قد سأل : « كيف أستطيع استخدام الكمبيوتر فى منشأتي ؟ » ولكن السؤال، كما أوضح ستافورد بير Stafford Beer ، غبي . ويقول بير انه كان من الأفضل أن يسأل السائل : « كيف يجب أن تكون منشأتي بعد أن أصبح الكمبيوتر شيئاً قائماً ؟ » ويتضمن هذا السؤال الجديد قوة الكمبيوتر الحديث للعمليات الحسابية ولتغيير الأساس الكلي للمنظمة . فمن الواضح مثلاً فى هذا الصدد أن « ذاكرة » المنظمة ستكون أكفأ بكثير باستخدام الكمبيوتر . وباستخدام التسهيلات المناسبة لاسترجاع البيانات ستختفي المناقشات عما حدث حقاً فى « المرة السابقة » أو فى السنة الماضية الخ . وباستخدام الكمبيوتر يكون من الممكن كذلك انشاء واختبار النموذج التنظيمي الذى يسمح بالاختيار الصحيح للأهداف الفرعية واختبارها . وهكذا يصبح الكمبيوتر جزءاً متكاملاً من الخدمة التي تقدمها الادارة الموجودة على قمة العمل . على انه من المحزن أن نقول انه لم يحدث من الموجودين عند ذلك المستوى الا القليل من استخدام الكمبيوتر » .

وهنا يمضي كروفورد فى ذكر العلاج الذى يراه لهذه الحالة .

ويدل هذا الكلام عن استعمال الكمبيوتر فى بريطانيا (على الأقل) على أن الناس ما زالوا بعيدين عن الاستخدام الصحيح للكمبيوتر فى الادارة ، مما هو من أكبر مستلزمات عصر السيبرنيشن .



٣ ـ الجهاز العصبي والكمبيوتر

اكتشاف الخواص الكهربية للاعصاب :

قبل سنة ١٧٥٠ قام عدد من الباحثين بنشر تقارير عن مشاهداتهم لانقباض عضلة حيوان أو انسان حديث الوفاة عند ملامسة مولد للكهربية الاستاتيكية أثناء تفريغ شحنته . وقبل ثلاثين سنة اخرى نشر اثنان أو ثلاثة من الباحثين تخميناً بأن الصدمة التى تنشأ من ملامسة سمكة « الطوربيد » ذات طبيعة كهربية . وفى سنة ١٧٩١ بدأ **لويجى جلفانى** Luigi Galvani فى نشر أبحاثه عن الكهربية الحيوانية . وقد عرف فيما بعد أن معظم آرائه كانت خاطئة . ولكن المهم انه لفت الأنظار الى حقيقة من اهم حقائق علم الحياة ، الا وهي الأساس الكهربي لعمل الأعصاب .

كان جلفاني محاضراً عاماً فى علم التشريح فى جامعة بولونيا منذ سنة ١٧٦٢ حتى وفاته سنة ١٧٩٨ . وفى أيامه عرف الناس انه يمكن توليد تيار كهربي فى ظروف معينة اذا ضم معدنان مختلفان مثل النحاس والحديد ، كما انه كان يعلم أن الأعصاب تتحكم فى عمل العضلات ، فاذا ضغط مثلاً بشدة على العصب الرئيسي لعضلة ضفدعة فانها تنقبض . وقد قام جلفاني بتجارب استمرت عدة سنوات على سيقان ضفادع معلقة من خطافات نحاسية ومستندة الى قضبان حديدية . وفى الجزء الأول من القرن التاسع عشر تحقق ، فى كثير من المختبرات ، الاستنتاج بأن

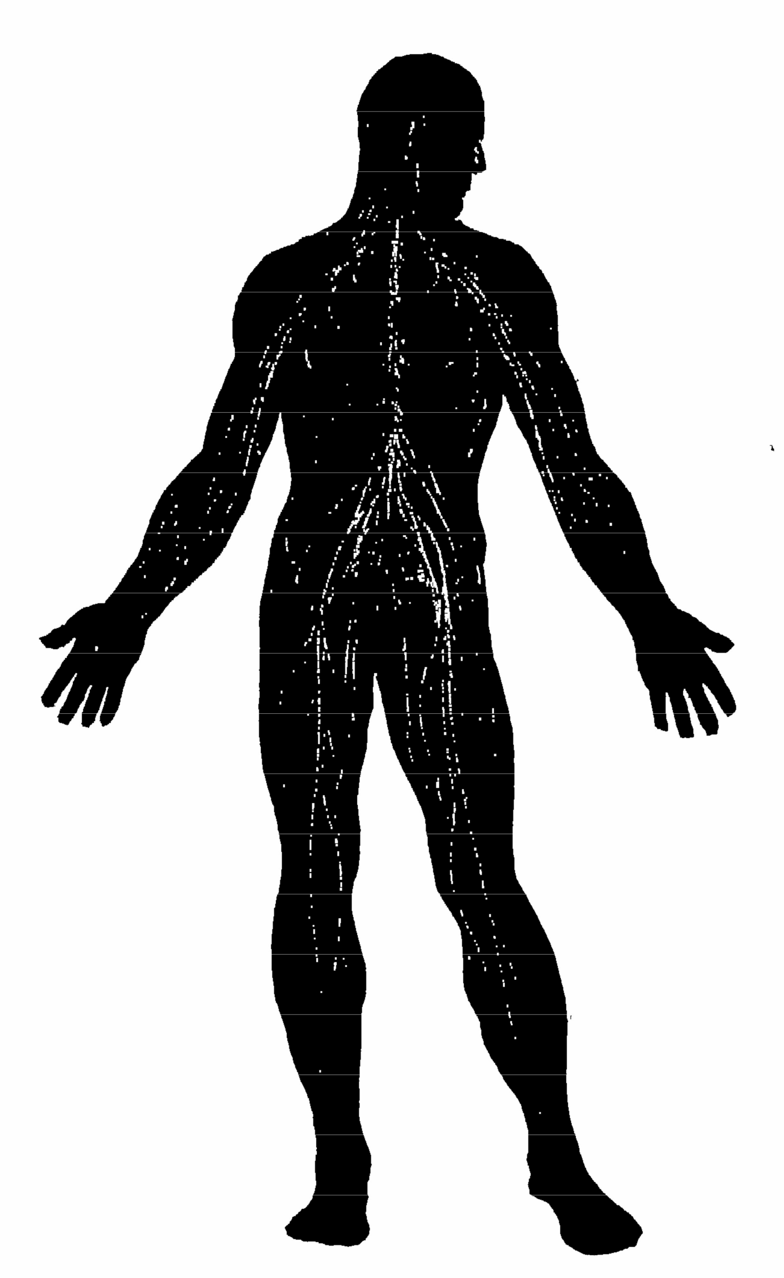
انقباض سيقان ضفادع جلفاني سببه تيارات كهربية فى الأعصاب المتصلة بها . وقد اكتشف كذلك أن هذا الأمر لا يقتصر على الضفادع وحدها ، وانما يتعداه الى جميع الحيوانات التي اجريت عليها تجارب مماثلة ، ولا يشذ عن ذلك الانسان . فمهما كان الحيوان فان التيار الكهربي الذى يمر فى عصب له يتحكم فى عضلة معينة يسبب انقباضها . وعندما اجريت مثل هذه التجارب على الحيوانات الحية ثبت بصفة نهائية ان الباحثين كانوا يعالجون احدى خواص الأنسجة الحية . اما وجود الظاهرة فى الحيوانات الميتة فقد كان سببه أن أنسجة الأعصاب والعضلات تبقى حية وفى حالة صحية جيدة نسبياً لفترة مابعد نفوق الحيوان نفسه ، وتطول هذه الفترة اذا بذلت الجهود المناسبة لحفظ تلك الأنسجة .

على انه بالاضافة الى الاعصاب التي تتحكم فى استجابة العضلات يوجد نوع آخر من الاعصاب تصل العضلات بالدماغ ولكن تغيير حالتها لايسبب رد فعل من هذه العضلات . فقد وجد الباحثون ان الاثارة الكهربية لهذا النوع من العضلات لا تسبب اثرا مرئيا . الا انه بتقدم وسائل القياس وجد ان شد العضلة المتصلة بعصب من هذا النوع يولد تيارا كهربيا فى ذلك العصب .

وباستمرار القيام بالتجارب نجح الباحثون فى أوائل القرن التاسع عشر فى اثبات الطبيعة الكهربية لعمل كل من الأعصاب « الحركية »(ويطلق أيضا عليها اسم الصادرة efferent وهي التي ترسل الاشارات عن طريقها من الحبل الشوكي أو الدماغ الى العضلات فتسبب انقباضها) والأعصاب « الحسية » (ويطلق عليها أيضاً اسم الواردة affarent وعن طريقها تقوم العضلات بارسال المعلومات عن حالة استطالتها او انقباضها الى المراكز العصبية) . وقد تبع ذلك اكتشاف ان الخواص الكهربية لعمل الأعصاب هي من صفات الجهاز العصبي كله . فقد وجد أن الأعصاب الواردة تبعث اشاراتها بوسائل كهربية دائماً ، سواء كانت وظيفتها بيان الاستطالة فى عضلة ، أو اللمس ، أو الرؤية ، أو الصوت ، أو الرائحة ، أو الضغط ، أو الألم ، أو الدفء ، أو التركيب الكيميائي ، أو بيان أى شيء عن الحواس الكثيرة الاخرى التي تقوم باعطاء المعلومات اللازمة لحفظ صحة الحيوان . كذلك وجد أن كل الاشارات المنبعثة عن طريق الأعصاب الصادرة هي الاخرى كهربية ، سواء كانت متجهة الى مؤثرات ذات طبيعة ميكانيكية كالعضلات او كيميائية كالغدد .

وبالرغم من أهمية هذه الحقائق التي تم اكتشافها فى القرن التاسع عشر فان قصور وسائل البحث فى ذلك القرن لم يجعل من المستطاع الاجابة على أسئلة كثيرة بشأن تفاصيل الظواهر المكتشفة . مثلاً : عندما يثار مستقبل اللمس فى الجلد الخارجي لحيوان التجربة ، فبأى سرعة تسير الاشارة الكهربية نحو الدماغ؟ والى متى يستمر العصب فى توليد التيار بعد ازالة الاثارة ؟ ولم تعرف الاجابة على الأسئلة من هذا القبيل حتى جاءت الوسائل الحديثة للقياس الدقيق . وقد عمل اختراع مقياس الذبذبة باستخدام اشعة المهبط cathode - ray oscilloscope بوجه خاص على امكان قياس الظواهر الكهربية القصيرة الأمد . وباستعمال الادوات الالكترونية تمكن الباحثون فى السنوات الاخيرة من الوصول الى الكثير من الاكتشافات المثيرة بشأن عمل الجهاز العصبي .

ومن الحقائق الهامة حول ما يحدث فى عصب وارد عندما تشد العضلة المتصلة به لتزيد استطالتها (صناعياً) بالتدريج البطيء ابتداء من حالة الارتخاء انه لا يحدث تيار فى مبدأ الأمر . واذا ثبت مقدار الشد عند ذلك الحد فلن يحدث تيار مهما طال الوقت . ولن يتولد التيار ما لم تصل الاستطالة الى درجة معينة ، تسمى « العتبة » threshold ، **وهي الحد الأدنى**



شكل (١٠)
الجهاز العصبي للانسان

الذى يجب أن تتعداه استطالة العضلة حتى يتولد التيار فى العصب المتصل بها . على أن ذلك التيار لن يكون مستمراً ، وانما يتكون **من سلسلة من النبضات** . ويرتفع التيار من صفر الى النهاية العظمى فى بضعة أجزاء من عشرة آلاف من الثانية ، ثم يهبط بالتدريج نسبياً الى الصفر مرة اخرى ، وتستغرق كل هذه العملية جزءاً من ألف من الثانية تقريبا . وبعد كسر من الثانية تحدث نبضة أخرى . ويتبع هذه نبضة ثالثة ، ثم رابعة ، وهكذا . وتستمر سلسلة النبضات طالما بقيت العضلة مشدودة بنفس الدرجة .

وما الذى يحدث اذا زيدت استطالة العضلة ؟ ستكون النبضات من نفس نوع النبضات السابقة ، مع فرق واحد هو أن عددها سيكون أكثر فى الفترة الزمنية الواحدة . وكلما زاد الشد على العضلة زاد معدل توليد النبضات حتى يصل الأمر الى نقطة التشبع للعصب .

ولا تقتصر هذه الظاهرة على عضلات واعصاب حيوان معين ، فهي عامة لكل أنواع الحيوان . وسواء كان العصب الوارد مما يبين الشد ، أو اللمس ، أو البرد ، أو الدفء ، أو الصوت ، أو البصر ، أو التركيب الكيميائي ، فانه يبعث المعلومات بوساطة سلسلة من النبضات الكهربية لكل منها نفس المقدار ونفس فترة الاستمرار تقريباً بصرف النظر عن شدة الاثارة ، مع ازدياد معدل توليد النبضات بازدياد الاحساس . وخاصتا « العتبة » و « التشبع » عامتان لكل الأعصاب الواردة .

ولا تقتصر الخواص السابق ذكرها على الأعصاب الواردة . فهناك نفس الخواص للأعصاب الصادرة ، سواء كانت تحمل الاشارات الى العضلات أو الى الغدد .

وهكذا يبدو **أن الخاصية الأساسية للجهاز العصبي هي أنه ينقل المعلومات بوسائل كهربية وان التوصيل الكهربي فيه يكون على أساس « كل /أو/لا شيء » ، كما لو كان الأمر يتم بواسطة مفاتيح مما يستخدم فى اغلاق وفتح الدوائر الكهربية .**

الخلية العصبية : neuron

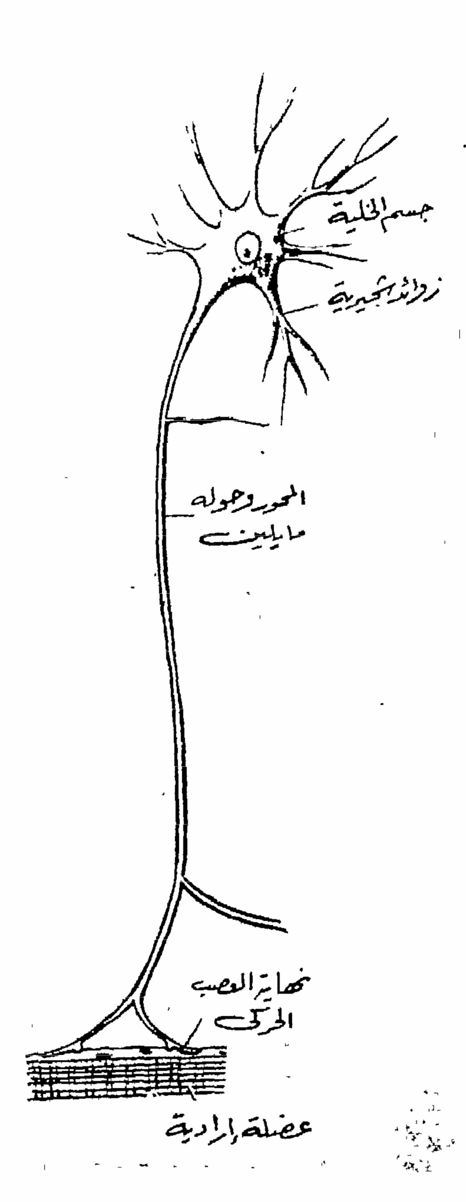
يتكون النسيج العصبي فى معظمه من خلايا غير منتظمة الشكل من نوع خاص لا توجد فى الأنسجة الاخرى للجسم . وتتكون الخلية العصبية من « جسم » له زوائد تعرف باسم « الزوائد الشجيرية » dendrites . وتستطيل احدى هذه الزوائد لتكون ما يعرف باسم « المحور العصبي » oxon أو « الليفة العصبية » . وبينما يكون لكل الخلايا العصبية شكل عام واحد فانها تختلف فيما بينها اختلافاً كبيراً فى تفاصيل تركيبها وأبعادها . ففي المسارات الطويلة من أطراف الجسم الى دماغه قد لا يوجد فى بعض الأحوال غير ثلاث خلايا على شكل سلسلة فى قناة التوصيل الكاملة بين نهاية الطرف والدماغ . وفى مثل هذه الحالة قد يصل طول الليفة العصبية الى قدمين أو ثلاثة أقدام فى حين يقل قطر جسم الخلية عن جزء من مائة جزء من البوصة . وفى حالات اخرى ، وخاصة فى الدماغ ، قد يكون طول الخلية فى اكبر ابعادها مساوياً بضع أجزاء من الألف من البوصة .

وتصنف الخلايا العصبية حسب وظائفها الى ثلاثة انواع عامة هي : (١) الخلايا الحسية او المستقبلة (٢) الخلايا الحركية او الصادرة (٣) الخلايا المتوسطة . ويمكن النظر الى هذه الأنواع على أنها ، على الترتيب : (١) أدوات ادخال input (٢) أدوات اخراج output (٣) كل شيء بين هذين النوعين . وبصرف النظر عن الاختلاف فى الحجم والشكل فان اكبر الشذوذ فى

التركيب يظهر فى بعض الخلايا المستقبلة التي يوجد باواخرها نهايات تعمل على تحويل الضغط، او التركيب الكيميائي ، او درجة الحرارة ، او اية كمية فيزيائية اخرى يراد قياسها ، الى نوع من الاشارة الكهربية الكيميائية التي تكون الخليه مصممة لمعالجتها . ويوجد فى جسم الانسان نحو ١٠ آلاف مليون خلية عصبية من الانواع الثلاثة . ولكن اكثر من ٩٠٪ منها (بما فى ذلك معظم خلايا الدماغ نفسه) من النوع المتوسط .

وتقوم الأجزاء المختلفة من الخلية العصبية بمهام مختلفة . فالنبضة العصبية تتولد فى جسم الخلية ، والمحور العصبي هو الذى يقوم بتوصيلها الى مكان آخر يكون عادة خلية عصبية أخرى . وعندما يصل محور الخلية الى حيث ينتهي فانه يتفرع الى فروع اصغر تلامس « نهايات الادخال » لخلايا عصبية اخرى . وتتكون نهايات الادخال للخلية العصبية من الزوائد الشجيرية وجسم الخلية . ويتضح من المشاهدات الميكروسكوبية ان فروع المحور العصبي لخلية معينة تنتهي عادة على هذه الأجزاء من الخلية المستقبلة ، لا على محور عصبي آخر . وكل وصلة بين ليفة عصبية (محور عصبي) وزائدة شجيرية أو جسم الخلية التالية تسمى « سينابس » synapse .

وتختلف سرعة انتشار التيار العصبي فى الليفة العصبية (المحور) على عوامل متعددة ، منها سمك المحور والخواص الكيميائية والكهربيه له وللسائل المحيط به . وتنتشر النبضات بسرعة اكبر على وجه العموم فى المحور ذى القطر الاكبر . وفى جسم الانسان تختلف سرعة انتشار النبضات من ٢ ميل الى ٢٠٠ ميل تقريبا فى الساعة . ومن الخواص الهامة لانتشار النبضات العصبية انها تبقى محافظة على شدتها على طول المحور .



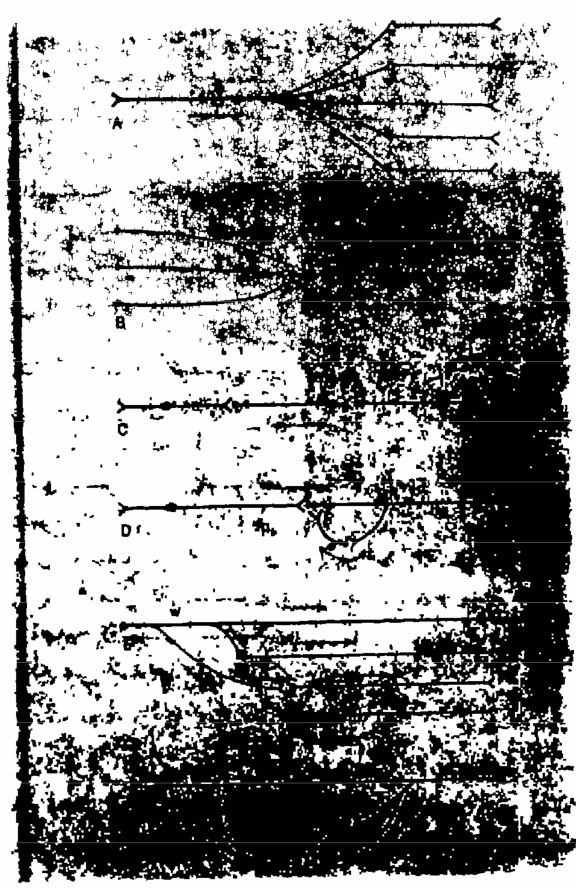
شكل (١١)
خلية عصبية (النيورون) .

وعندما تصل الاشارة الكهربية الى « سينابس » يفصلها من جسم الخلية التالية أو زوائدها الشجيرية فانها تجد الطريق مسدوداً أمامها . ويتضح من المشاهدات الميكروسكوبية أن السبب فى ذلك هو أن المحور العصبي للخلية الباعثة للنبضة لا يلامس جسم أو زوائد الخلية التالية . فهناك دائماً ثغرة عرضها نحو جزء من مليون من البوصة . وتزول شدة النبضة بعد ٥ أو ١٠ مليثانية من وصولها الى السينابس (المليثانية جزء من الف من الثانية) . ولن يكون هناك

أثر عام مالم تصل نبضة اخرى (او اكثر) خلال تلك الفترة لتجميع الاثر بحيث يتعدى « العتبة » الخاصة بالسينابس (أى الحد الادنى للضغط الكهربي اللازم لمرور الاشارة الكهربية خلال السينابس) . ومن النادر (ان لم يكن من المنعدم) ان تعمل خلية عصبية بتأثير خلية واحدة اخرى . فكل خلية يفصلها سينابس عن كل من عدد من الخلايا . وعندما تصل النبضات من عدد من الخلايا المجاورة فى وقت واحد تقريبا (لا يتجاوز ١٠ مليثانية) فان أثرها يتجمع ويحدث نبضة فى الخلية عندما يتعدى العتبة .

على ان بعض النبضات الآتية الى الخلية من خلايا معينة قد تعمل على الاقلال من أثر النبضات الآتية من الخلايا الاخرى . ومعنى هذا أن هناك نوعاً « مانعاً » inhibiting من الخلايا يعمل على تضييع أثر عمل الخلايا « المثيرة » . والخلية المتوسطة interneuron العادية تستقبل عادة اشارات من عدد من الخلايا المانعة بالاضافة الى ما تستقبل من عدد من الخلايا المثيرة ، ولا تنشأ النبضة فى محورها الا اذا كان الأثر الكلي يتعدى عتبة السينابس الفاصل .

وفى بعض الظروف يكون من صفات الخلية أن « عتبتها » لا تكون ثابتة القيمة . فاذا كان مجموع اشارات الادخال أقل قليلاً من العتبة اللازمة لارسال نبضة فان اشارة ضعيفة جداً



شكل (١٢) . رسوم توضيحية لبعض « الدوائر العصبية » مما يشبه الى حد كبير تصميم « البوابات » فى تصميم كمبيوتر الكتروني .

من نهاية ادخال اخرى قد تكون كافية لاتمام ذلك الارسال . وبالعكس ، اذا وجدت اشارات مانعة فى بعض النهايات فان الخليــة قد تصــبح غيرحساسة بالنسبة لادخالات اخرى مثيرة قد تكون كافية لارسال الاشارة فى حالة عدم وجود الاشارات المانعة . كذلك قد يحدث تغير العتبة بتأثير تغيرات فى التركيب الكيميائي أو فى توزيع التيار الكهربي فى السائل المحيط بالخلية .

وفى كل ما سبق **نجد ان الخلية العصبيه تشبه الى حد كبير احدى مكونات كمبيوتـــر .** اذ بتوصيلها مع غيرها بالطريقة الصحيحة فانها ولا شك تكون قادرة على الاتيان بأعمال مشابهة لبعض ما تقوم به مفاتيح كمبيوتر رقمى الكتروني . ففي هذا الأخير توجد دوائر كهربية عديدة بعضها لا يصدر اشارة كهربية نتيجة الادخال فيه الا اذا توفرت شروط معينة . وهذه الدوائر تســمى « بوابات » gates . وتختلف هذه الشروط من بوابة الى اخرى . وهي شروط تشبه تلك التي تكلمنا عنها فى حديثنا عن اشارات الخلايا المثيرة واشارات الخلايا المانعة .

على أن **للخلية العصبية خواص اخــرى .** فزيادة معدل نبضات الاخراج بزيادة « سعة » الادخال (أى بزيادة شدة الاثارة) ، والقدرة على جمع وطرح الادخالات المختلفة ، وتأثير تطابق الوقت على صفات التجميع ، وصفة العتبــة المتغيرة ، وصفات اخرى كثيرة معقدة لا نذكرها هنا ، تدل كلها على أن الخلية العصبية أكثـــر تعقيداً من المفتاح الالكتروني الموجود فى كمبيوتر .

عمل ادوات الادخال العصبية :

واذا عدنا الى الكمبيوتر الالكتروني الذى يقوم فيه العمل الحسابي على أساس رقمي نجد أنه لا يعمل الا باستخدام شفرة معينة تســمى « لغة الآلة » machine language وكل المعلومات التي يستعملها فى عملياته الحسابية والمنطقيــة لا بد أن تترجم أولاً الى تلك الشفرة قبل ادخالها فى الآلة ، كما أن نتائج العمليات لا بد من ترجمتها من لغة الآلة الى شكل يكون مفهوماً خــارج الكمبيوتر . وبالنسبة للكائن الحي فان صلتــه بالعالم الخارجي تتم على نفس هذه المبادىء . فمثلما يستخدم الكمبيوتر أدوات ادخال مختلفة لتحويل القياسات الحرارية والكيميائية والكهربية الى اشارات « كل / أو / لا شىء » ، ثم يستخدم أدوات اخراج مختلفة لتحويل نتائج الحساب الى العمل التحكمي الملائم ، نجد أن الخلايا العصبية المستقبلة فى الكائن الحي ذات أنواع مختلفة يقوم كل منها بعملية من عمليات تحويل الضغـــوط ودرجات الحرارة والتركيب الكيميائي وغيرها الى النبضات الكهربية التي يفهمها الجهاز العصبي المركزى ، كما نجد أن الخلايا العصبية الصادرة تترجم المعلومات التي تستقبلها من الجهـــاز العصبي المركزى فى صورة شفرة « كل / أو / لا شىء » الى استجابات عضلية أو غدديـــة مناسبة .

وفى شكل (١٣) بعض النهايات العصبية الحسية الكثيرة الشيوع ، وهي :

أ ـ مستقبلة لمس تتكون من غمد شعرة مع التركيب العصبي المصاحب . فعنـــدما نلمس شيئا ينشأ عن حركة الشعرة ضغط كهـــربي يتحول فى الليفة العصبية الى سلسلة نبضـــات مما يتكون منه « لغة الآلة » للجهاز العصبي .

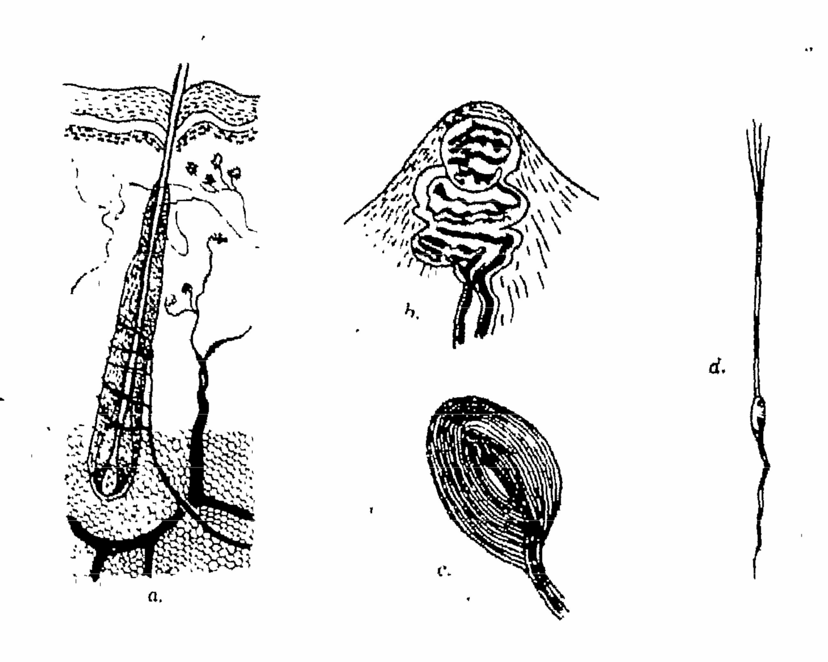
ب ـ كرية ميسنر Meissner corpuscle وهي مستقبلة لمس من نوع آخر يوجد بكثرة فى الأماكن البالغة الحساسية للمس مثل الأصابع والشفتين . وينتقل تحرك نهايتها فى حالة اللمس عن طريق ازاحة انسجة الجلد المجاورة .

جـ ـ كرية باسينيان Pacinian corpuscle وتسمى « مستقبلة الضـــغط » .

ويؤدى الضغط الزائد على الجلد الخارجي الى انزلاق بعض الطبقات على بعضها . وينشأ عن ذلك نبضات كهربية . ولا ينحصر وجود كريات باستينيان تحت السطح الخارجي للجلد ، فهي توجد أيضا فى بعض الأعضاء الداخلية للجسم .

د ــ **نهاية عصبية تقوم بعمليـــة التحليل الكيميائي** عندما تلامس فئة معينة من الجزيئات الكيميائية ، وهي مما يوجد فى غشاء اللســـان والانف . وتصدر هذه النهايات نبضات كهربية نتيجة لذلك التحليل الكيميائي ، ولا تصدرها لاى سبب آخر .

ويقوم عمل الخلايا الحسية على أســاس الاحساس اللمسى أو الاحساس الكيميائي. فنحن نسمع عن طريق اللمس. وادوات الادخال هنا هى خلايا عصبية توجد فى طبلة الاذن وتتصل بشعيرات تتأثر باهتزاز الطبلة الناشيء من الموجـــات الصوتية . اما الابصار فيحدث بمواد كيميائية . ذلك ان شبكية العين تحتوى على خلايا عصبية على شكل قضبان ومخروطات تقوم بترجمة شكل الضوء والظل الواقع على الشبكية الى اشارات كهربيـة ترسلها الى المــخ . وتتم هـــذه « الترجمة » بتحليل كيميائي لمواد معينـــة بتأثير الضوء بطريقة تشبه الى حد كبير ما يحدث مـن تحليل فى الفيلم الفوتوغرافى . وتتأثــر الخليـــة العصبية بالمادة الناتجة من التحليل الكيميائي ، لا بالضوء .



شكل (١٣) . أ ــ غمد شعرة مع التركيب العصبى المصاحب له (ب) كرية ميسنر المستقبلة للمس ج) كرية باسينيان مستقبلة الضغط (د) نهاية عصبية للشـــم اوالذوق .

عمل ادوات الاخراج العصبية :

يكثر استخدام المواد الكيميائية كوسيط في خلايا الاخراج العصبية ، وهي ما تعرف باسم **الخلايا المؤثرة** effector neurons ويبدأ الامر ببيانات تقدمها خلايا الاستقبال العصبية الى الجهاز العصبي المركزى الذى يقوم عندئذ بمعالجة هذه البيانات وما يتبع ذلك من عمليات التحكم واتخاذ القرارات المناسبة . والنتيجة النهائية لكل تلك العمليات المعقدة هي تغير فى حالة استطالة عضلة أو تعديل فى عمل غدة . والتغير فى استطالة عضلة عملية ميكانيكية . وربما كان تعديل عمل غدة هو ايضاً عملية ميكانيكية ، اذان التحكم فى عمل غدة قد يتم نتيجة فعل عضلى ينشأ عنه توسيع أو تضييق الأوعية الدموية المتصلة بهذه الغدة .

وكما هو الأمر فى عمليات اخراج كمبيوتر الكتروني يقوم بالتحكم فى عملية صناعية ، نجد أن الاخراج فى الجهاز العصبي يتميز باستخدام اشارة كهربية ضعيفة للتحكم فى مصدر كبير نسبياً للطاقة من أجل الحصول على نتيجة مفيدة. وفى حالة الكمبيوتر قد تستخدم اشارة التحكم لتشغيل « متابع » relay لكي ينشط محركاً كهربياً قوياً ليقوم بعمل مطلوب . أما فى حالة الجهاز العصبي فنجد أن نظير المتابع يكمن فى خاصية معينة للنسيج العضلي . فهو ينتقل من الارتخاء الى التوتر نتيجة اطلاق مواد كيميائية معينة بتأثير النبضات الكهربية . والواقع ان العضلات تتكون من حزم من الياف طويلة رفيعة تشبه الخلايا العصبية الى حد كبير . وتتصل محاور الخلايا العصبية المؤثرة بألياف العضلات عن طريق « سينابسات » بطريقة شديدة الشبه باتصالات الخلايا العصبية الصرفة . وتقوم المركبات الكيميائية بنقل الكهرباء عبر السينابس فى حالة الأعصاب ، وفى حالة العضلات أيضاً .

الحبل الشوكي :

يختلف قطر محور الخلية العصبية فى الانسان من ٥ر٠ ميكرون الى ٢٠ ميكرون (الميكرون جزء من الف من المليمتر) . وتتجمع المحاور العصبية فى حزم تسمى ((**اعصابا**)) وتسير فى اتجاه واحد مع أنه قد تكون للألياف الفردية فى نفس الحزمة وظائف مختلفة . وللكثير من الاعصاب غطاء رقيق من مادة دهنية بيضاء تسمى ((**المايلين**)) myelin وهي مادة عازلة تعمل على منع الاتصال بين الالياف المتجاورة كما تعمل على زيادة سرعة انتشار النبضات الكهربية فيها . وفى الجهاز العصبي يمثل اللونان الرمادي والابيض خلافا جوهريا . **فالمادة الرمادية تتكون من أجسام الخلايا العصبية . والمادة البيضاء تتكون من الألياف العصبية :** والسبب فى اللون الابيض هو وجود المايلين الذى يغلفها .

واذا ابتدانا من الخارج متجهين نحو الداخل نجد ان الالياف العصبية تتجمع ، من خلايا متجاورة ، فى شكل ((**عصب**)) . وفى الحيوانات الفقارية تدخل الأعصاب فى العمود الفقارى عند مستويات مختلفة حسب نوعها ، وهناك تتجمع مع آلاف الأعصاب الداخلة عند مستويات اخرى فتشكل معاً ((**الحبل الشوكي**)) الذى يصل الدماغ بأجزاء الادخال والاخراج فى الجهاز العصبي . وفى الانسان يدخل الحبل الشوكي الى الدماغ مجمعاً بضعة ملايين من الألياف العصبية المنفصلة . ويقوم حوالي نصف هذا العدد بنقل المعلومات الى الدماغ بينما يقوم النصف الآخر بنقل نتائج معالجة الدماغ للمعلومات الى العضلات والغدد . وبالاضافة الى حمل الرسائل العصبية يقوم الحبل الشوكي بمهام اخرى نذكرها فيما يلي :

١ ـ يصل الحبل الشوكي الياف الخلايا الواردة ، التي يوجد بينها صلة عمل ، بهدف اعادة تنظيم البيانات الواردة من الادخال حتى تكون فى شكل مناسب للاستعمال فى الدماغ .

٢ ـ يصل الحبل الشوكي الخلايا الحسية والحركية لتقوم بأفعال انعكاسية بسيطة من أنواع مختلفة .

٣ ـ اذا أثر المرض فى بعض الالياف ، أو قطعها مبضع الجراح ، فكثيرا ما تقوم الأعصاب بتكوين مسارات اتصال جديدة بطريقة تعيد وظيفة التحكم فى الاتصال الى ما كانت عليه كليا او جزئيا .

واذا عمل قطاع عرضي فى الحبل الشوكي ظهرت المادة الرمادية على شكل حرف H يشغل نحو ١/٣ المساحة ، اما الباقي فتشغله المادة البيضاء التى تحتوى على الالياف الناقلة للرسائل ، وتقوم المادة الرمادية بوظيفتي النقل المتوسط والتكيف .

الدماغ : Brain

يشغل دماغ الانسان الجزء العلوى من الجمجمة ويزن نحو ٣ أرطال ، وله تقريبا شكل وحجم جوزة هند صغيرة . وهو يتكون من مجموعة من أعضاء أو أجزاء ، تقوم بوظائف مختلفة ، يمكن تقسيمها الى ثلاثة أجزاء رئيسية . ففوق الحبل الشوكي مباشرة ، وامتداداً له ، يوجد تكتل من بروزات يعرف باسم « **النخاع المستطيل** » brainstem وفوق النخاع المستطيل ، مع شيء من البروز الى الخلف ، يوجد « **المخيخ** » cerebellum ويتدلى فوق ذلك طبقة من النسيج الرمادى هي « **القشرة المخية** » cerebral cortex وتملأ كل الباقي من الجمجمة . ويزداد سطح هذه القشرة بدرجة كبيرة نتيجة لما يوجد به من تلافيف وتجاعيد . وتحت هذه القشرة توجد كتلة من المادة البيضاء . وظاهرة وجود طبقة رمادية ، تحتها كتلة بيضاء ، ظاهرة عامة فى أجزاء الدماغ المختلفة . وتقوم مسارات النسيج الابيض بربط الاجزاء المختلفة من الدماغ ، وهي تتكون من حزم من ملايين الالياف العصبية التى تقوم مقام الاسلاك فى الدوائر الكهربية . واكبر تجمع لهذه الالياف هو ما يعرف باسم « **الجسم الجاسى** » corpus callosum ويربط **نصفي الكرة** اللذين يؤلفان القشرة المخية . ويقدر عدد الموصلات المنفصلة فى الجسم الجاسى



شكل (١٥) تشغل « منطقة الحركة » في المخ شريحة عرضها نحو بوصة . وفي هذه الشريحة يقع « الانسان الصغير » .



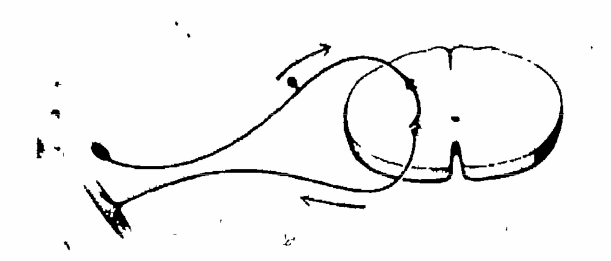
شكل (١٤) « الانسان الصغير » لحركة الانسان .

بحوالي ٣٠٠ مليون . وهناك تجمعات اخرى كبيرةمن الألياف تربط النخاع المستطيل بمناطـــق منفصلة من القشرة المخية .

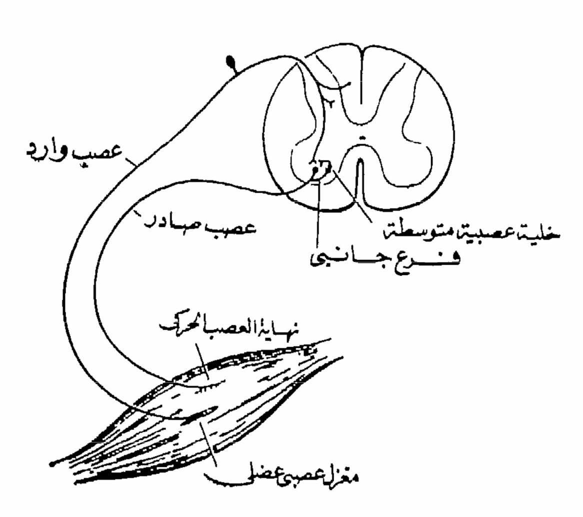
وباستثناء الخلايا العصبية التى تدخـلمحاورها الطويلة فى المادة البيضاء التى تصـــل الأجزاء المختلفة للدماغ فان خلايا الدماغ لهـــامحاور أقصر بكثير من محاور الخلايا الموجـودة خارج الجهاز العصبى المركزى . ومن جهة اخرىنجد أن الزوائد الشجيرية فى خلايا الدماغ اكثر عدداً . وخلايا الدماغ العصبية ذات أحجام عديدةمختلفة ، ولكن متوسط حجمها أصغر بكثير من متوسط حجم الخلايا الموجودة فى باقي الجهـــازالعصبي . وفى معظم مناطق الدماغ نجد أنه يوجد فى البوصة المكعبة أكثر من مائة مليون خلية .

ويمكن وصف الدماغ بانه يتكون من عناصردوائر متصلة ببعضها البعض ، وكل منها يبعث شكلا خاصا به من النبضات الكهربية الى عناصراخرى يكون هو بمثابة اداة الادخال بالنســـبة لها . وينطبق ذلك الوصف على الكمبيوتر الرقمىأيضاً .

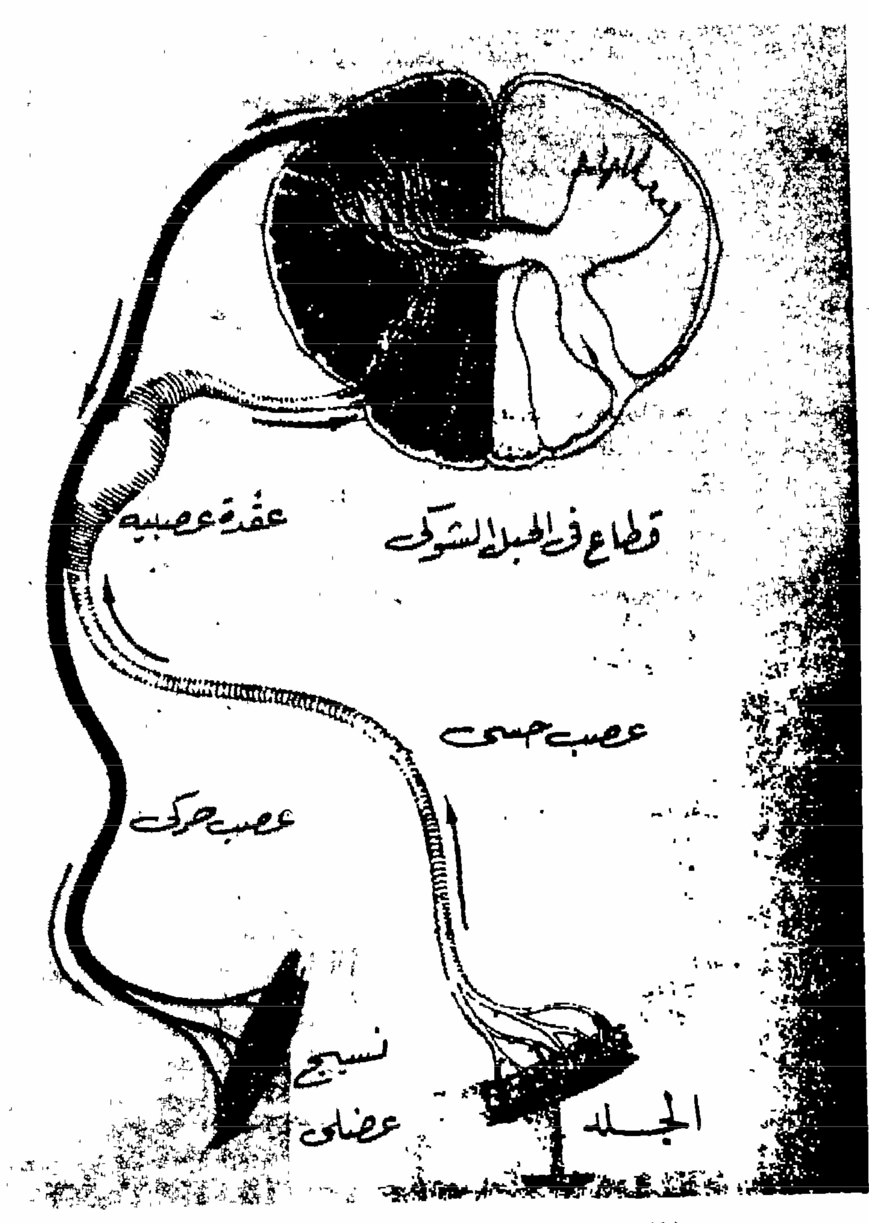
ومنحسنحظ جراحىالدماغانهم يستطيعون اجراء التجارب على اشخاص وحيوانـــات وهى واعية ، اذ أنه لا توجــــد مستقبلات للحس اوالالم فى الدماغ . لذلك نجد انه بمجرد ازالة او رفع الجزء العظمى والغشاء اللذين يحميان مادةالمخ الرقيقة ، باستعمال مخدر ، فانه يمكن ان



شكل (١٦) مسار النبضات العصبية في حركـة انعكاسية بسيطـة .



شكل (١٧) قوس انعكاسي يتضمن خليتين عصبيتين فقط



شكل (١٨) مجموعة من الاعصاب تكون « اقواسا انعكاسية »

يعاد المريض الى وعيه مع امكانه القيام بوظائفه العادية بينما تدفع مجسات فى اجزاء الدماغ المختلفة ، وتقاس الضغوط الكهربية او تستعمل . وفى اثناء ذلك يلاحظ الجراح النتائج . ويكون المجس سلكا رفيعا مغطى بمادة عازلة عند نهايته . وعندما يستعمل المجس لقياس ضغط كهربي مما يولد بصفة طبيعية فى الدماغ فانه يبعث لأدوات التسجيل بياناً بالجهد الكهربي عند ذلك الجزء من الدماغ الذى تلامسه نهايته بالضغط . اماعندما يستعمل لمعرفة تاثير جهد خارجي فانه يبعث تياراً فى منطقة موضعية صغيرة جداً من النسيج .

ومع أن التجارب لا تجرى على الانسان لمجرد كسب المعلومات عن دماغه فانه مع مرور السنوات اجريت على ادمغة الانسان آلاف العمليات اللازمة لازالة أو تخفيف آثار مرضية . وقد وجد الجراحون أن القياسات الكهربية التي تجرى بالمجسات السابق وصفها قد تكون عوناً عظيم الشأن فى تحديد موضع النسيج التالف الواجب ازالته . ولما كان جراحو الدماغ من الباحثين فى الغالب فانهم ينشرون عادة نتائج مشاهداتهم ، مما وضع تحت أيدينا مقداراً هائلاً من المعلومات عن عمل الدماغ والجهاز العصبي .

وبالاضافة الى المعلومات التي امكن الحصول عليها من غرفة العمليات فان الباحثين من علماء الأعصاب قد استفادوا بدرجة كبيرة من انه يوجد تشابهات فى تركيب ووظائف الاعضاء المتناظرة لأنواع الحيوانات التي يوجد بينها علاقات بيولوجية . فبالاضافة الى أن أجزاء دماغ الشمبانزى مثلاً هي نفس أجزاء دماغ الانسان فانها فوق ذلك تشبهها فى الشكل ، وتدل الشواهد العديدة على انها تكاد تعمل بنفس الطريقة التى تعمل بها أجزاء دماغ الانسان . ولا يختلف دماغ الكلب كثيراً عن دماغ الشمبانزى ، ولا يختلف دماغ القط كثيراً عن دماغ الكلب . ولعله لا يؤلمنا أن نعلم انه يمكن معرفة الشيء الكثير عن دماغ الانسان بدراسة دماغ الفار مثلاً . على أن النتائج التى نحصل عليها من التجارب على أدمغة الحيوان يجب أن تتعرض للاختبارات اللازمة للتحقق من صحتها بالنسبة للانسان . وفى العادة تسنح الفرص من حين لآخر لاثبات صحة الاستنتاجات عن وظائف اجزاء دماغ الانسان من التجارب التي اجريت على الحيوان .

ونتيجة للمعلومات التى تجمعت لدى علماء الدماغ فان هناك الآن « **خريطة** » لسطح القشرة المخية تبين مواضع اتصال اجزاء الجسم المختلفة بتلك القشرة ، ويطلق على هذه الخريطة او الصورة اسم « **الانسان الصغير** » homunculus وفى شكل (١٤) **تظهر الخريطة مأخوذة فى أحد** نصفى كرة المخ فى قطاع طولي مواز للجبهة ، امام وسط الدماغ مباشرة ، فى شريحة ممتدة الى الخارج من الشق الذى يفصل هذا النصف عن النصف الآخر . وعرض هذه الشريحة نحو بوصة . ومن هذه الشريحة تخرج أوامر الحركة الى العضلات . ويتحكم النصف الأيمن من الدماغ فى حركات النصف الأيسر من الجسم ، والعكس ولذلك فان لشكل (١٦) صورة مرآة فى جزء المخ الذى يتحكم فى النصف الآخر من الجسم ، وتلاحظ أهمية اصابع اليد للانسان بمقارنة جزء المخ الذى يتحكم فى حركتها . بذلك الجزء الذى يتحكم فى حركة أصابع القدم .

وكما يوجد جزء للحركة على كل نصف من القشرة المخية فانه يوجد جزء للاحساس يحتوى على نهايات الاعصاب الواردة من الجسم . وكل جزء للاحساس يوازى جزء الحركة ويقع خلفه مباشرة .

ولا يقتصر أمر خرائط « الانسان الصغير » على القشرة المخية وحدها . فقد اكتشفت مثل **هذه الخرائط فى منطقتين أو ثلاث اخرى . فمثلا هناك** « انسان صغير » فى المخيخ . واهميته تعود الى انه يتحكم فى اتزان الانسان بجانب وظائف اخرى .

قنوات التوصيل فى الجهاز العصبي :

يقوم نقل المحادثات الهاتفية (التليفونية) في أسلاك التوصيل على أساس طريقتين مختلفتين، تستخدم احداهما فى بعض النظم ، وتستخدم الثانية فى النظم الاخرى . ذلك انه :

١ ــ فى بعض النظم يحتوى « الكابل » العام على **عدد كبير من الموصلات** المعزولة التي يقوم كل منها بنقل محادثة واحدة بين طرفين ولا ينقل غيرها الا فى وقت آخر .

٢ ــ فى النظم الاخرى يستخدم نفس الموصل لنقل العديد من المحادثات فى نفس الوقت . وفى هذه النظم تبعث كل محادثة بذبذبة مختلفة التردد ، وتفرز المحادثات فى نهاية الخط باستخدام خلافاتها فى تردد الذبذبة .

ويقوم الجهاز العصبي بتوصيل الاشارات العصبية الكهربية على أساس مماثل للطريقة الاولى ، وهي طريقة يعيبها ــ فى الظاهر على الأقل ــ أنها تحتاج الى عدد كبير من قنوات الاتصال ، ولكنها تمتاز فى الواقع بأنها لاتحتاج الا الى نوع واحد من الاشارات . وبذلك نجد أن الرسالة التي يقوم العصب بتوصيلها تقوم على أساس استخدام النبضات الكهربية ، سواء كانت الرسالة لتوصيل معلومات بصرية ، أو سمعية ، أو حسية ، أو كيميائية ، أو غيرها ، أو كانت لتوصيل أوامر الى العضلات أو الفرد .

والنتيجة الطبيعية لقيام التوصيلات العصبية على هذا الاساس هو أن كل وظيفة من وظائف الجهاز العصبي المركزى يختص بها جزء أو أجزاء معينة منه . فهناك جزء من المخ خاص بالابصار ، وآخر خاص بالشم ، وهكذا .

ويخرج من الدماغ ١٢ زوجا من **« الاعصاب الدماغية »** تخدم الراس ، والعينين ، والاذنين ، والحلق ، وبعض الاعضاء فى الصدر والبطن . ومن الحبل الشوكي يخرج ٣١ زوجا من الاعصاب تمر من فتحات بين الفقارات عند مستويات مختلفة ، والعلوى منها ينتهي بعد التفرغ فى الجذع والذراعين واليدين ، والسفلى منها ينتهي بعد التفرع فى الحوض والفخذين والساقين والقدمين . وتصل الاعصاب الى كل ملليمتر مربع من الجلد ، والى كل عضلة ، والى كل وعاء دموى ، والى كل عظمة ، والى جميع أجزاء الجسم الاخرى .

وتسير الاشارات من أجزاء الجسم المختلفة عبر الحبل الشوكي أو رأساً الى الدماغ محدثة الاحساسات المختلفة . ومن الدماغ أو الحبل تسير الاشارات الحركية ، أو الأوامر ، للعضلات فى الأطراف والقلب والأمعاء وغيرها .

ولا يقتصر تلقى الاشارات العصبية على وقت وجود الاخطار ، أو وجود مصدر خارجي للضوء أو الصوت أو الحرارة الخ . . فاثناء النوم مثلاً ما كنا لنستمر فى التنفس اذا لم تقم مستقبلات حساسة بدرجة كبيرة فى الجهاز الدورى بارسال اشارات الى الدماغ عن زيادة نسبة ثاني اكسيد الكربون فى الدم . على أنه لا يوجد فرق أساسي بين اشارات الألم المضنى الذى يسببه وخز ابرة والفيضان المستمر من الاشارات غير المحسوسة التي تحفظ التنفس . والفرق الأكبر هو أين تبدأ هذه النبضات ، وأين تصل الى وعينا (ان حدث ذلك) وأين تؤثر .

حلقات التحكم التى لا تشمل الدماغ :

يتلقى الدماغ مساعدات من المراكز العصبية الاخرى فى تقرير استجابات العضلات والغدد

للاثارات الحسية ، وفى التحكم فيها . وتقع بعض الحلقات البسيطة للاثارة والاستجابة خارج المخ كلية . ولا تقتصر فائدة هذا الترتيب على ترك الدماغ ليتفرغ للعمليات التي تحتاج الى درجة عالية من التحكم المعقد ، فان قنوات التوصيل القصيرة التي يتضمنها هذا الترتيب تساعد على التعجيل بالاستجابة للاثارة . وفى ذلك فائدة عظيمة فى بعض المواقف التي لا تتحمل التاخير فى الاستجابة .

وعندما تكون الاستجابة اوتوماتيكية وبدون تفكير فانها تسمى « **فعلا انعكاسيا** » . وهناك امثلة عديدة على ذلك . وبعضها قد كملت دراسته . فعندما تطرق المنطقة الرخوة تحت الركبة بمطرقة من المطاط بشدة فان الساق تقذف الى اعلى . ويلزم للتحكم فى هذه العملية سلسلة ، أو « **قوس انعكاسى** » reflex arc من خليتين عصبيتين فقط . (فى الواقع توجد انسجة متوازية كثيرة فى كل جزء من سلسلة الخلايا العصبية) . فالصدمة التي تحدثها المطرقة تولد اشارة كهربية فى العصب الفخذى femoral nerve وتنقل هذه الاشارة بواسطة الليفة الطويلة للخلية المستقبلة ـ الموجودة بالنخاع الشوكى . وهناك تمر الاشارة الكهربية الى خلية صادرة يصل محورها الطويل الى عضلة السمانة فى الساق فتنقبض محدثة الحركة المعروفة .

وربما كان هناك عدة آلاف من الأقواس الانعكاسية فى جسم الانسان . وبعض هذه الاقواس بسيط مثل تلك التي وصفناها الآن ، وبعضها يتحكم فى ردود افعال متعلقة ببعضها الآخر بطريقة تجعلها معقدة .

عمليات التحكم التي تشمل الدماغ :

يتضمن الكثير من الاستجابات الاوتوماتيكية ، التي يتحكم فيها الدماغ ، تنظيم عدد كبير من العضلات المختلفة فى وقت واحد . وعمل المخيخ مثال على ذلك . وقد وصف المخيخ بانه نوع من السكرتير الخاص لنصفى كرة المخ . ويبدو انه يتقبل توجيهات عامة عن طبيعة الحركة التي نريد الاتيان بها ثم يقوم هو بتجهيز تفاصيل المعلومات اللازم ارسالها الى العديد من العضلات لضمان الأداء المتزن للحركة . وهناك ما يشابه عمل المخيخ فى استخدام كمبيوتر للتحكم فى قذيفة موجهة ، اذ يستخدم هذا الكمبيوتر نظاما من الأجهزة لفصل الخطوات اللازمة لسير القذيفة من وظيفة التحكم العام .

وهناك امثلة اخرى كثيرة على التنسيق الاوتوماتيكي لحركات العضلات . فعملية استنشاق الهواء يلزمها حركة أكثر من ٩٠ عضلة تقوم بعمليات التمدد والانكماش فى تناسق تام نتيجة للاشارات الكهربية التي يرسلها الدماغ فى أكثر من الف ليفة عصبية .

وهناك من الانعكاسات ما هو جوهرى لحفظ صحتنا وحياتنا ، وفيها تؤدى اثارة حسية واحدة الى سلسلة معقدة من الافعال الحركية ترتبط ببعضها البعض مكانيا وزمنيا . وبالاضافة الى اهمية هذه الحركات التحكمية لحياتنا وصحتنا فانها تقدم الدليل **على وجود « برنامج مخزون »** stored program **مثل البرامج المخزونة فى الكمبيوترات الرقمية** . وعمل الغدد الموجودة فى الجسم يتم على هذا الاساس .

« البرامج المخزونة » لسلوك الحيوان :

من المعلوم أن الطيور تعطى أمثلة كثيرة على السلوك الخاص المرتبط بالنوع أو السلالة . فهذا النوع من الطيور يمشى على قدميه خطوة فخطوة ، وذلك النوع يقفز باستخدام القدمين

معاً . وبينما نجد أن معظم الطيور تشرب باخذالماء فى فمها ثم رفع الرقبة والراس الى أعلى وترك الماء ينزل الى المعدة ، نجد أن الحمام يضع منقارهفى الماء ثم يمتصه خلال المرىء . وهناك نوع من الطيور يصنع عشه دائماً فى تجويف شجرة اوغيرها ، بينما يصنع نوع آخر اعشاشاً بيضاوية الشكل ذات مدخل جانبي ، بين اغصان الأشجار .

ولا يقتصر وجود السلوك الموحد فى افرادالنوع او السلالة الواحدة على الطيور . فحشرة النطاط مثلاً مصنفة الى فصائل حسب طريقةتنظيفها لقرون الاستشعار . فاحدى الفصائل (Arcrididae) تضع ساقاً على احد قـــرونالاستشعار وتنظفه بسحبه بين الساق والأرض. وفصيلة اخرى تشبهها فى المظهر (tetrigidae) تنظف قرون استشعارها بضربها بالسيقان التي تنظف بدورها بسحبها خلال الفم . وهنـــاك« الحبار » squid (وهو نوع من الاخطبوط) الذى يقذف الحبر وينحرف صانعاً زاوية قائمةعند الهرب . وهناك كذلك الاخطبوط الذى يبنى حائطا صغيرا من الاحجار يختبىء وراءه .

ولما كانت القدرة على التعلم الى حد ما من الخواص التي تتميز بها نسبة كبيرة من الحيوانات بما فى ذلك بعض مما نعتبره من الحيوانات الدنيا ، فمن الواجب دائماً أن نكون على حذر فى تفسير السلوك الموحد الذى نشاهده مــن طائفــة مــن الحيوان، والا نستبعد انيكون ذلك نتيجة لتعليم الكبار للصغار ، ما لم يتوفر الدليل على غير ذلك. ولقد بقينا سنين طويلة فى الواقع نفترض أن معظم السلوك الموحد للحيوان نتيجة لعمليات تعليمية ،ولم نقرر أن معظم هذه الافتراضات خاطئة الا بعد اجراء التجارب التي تم فيها تربية الحيوان منذ الولادة او الخروج من البيض دون الاتصال بأى افراد من نفس النوع . وقد كان الاستنتاج فى مثل هذه الحالات أن ما كنا نفترض أنه جــاء بالتعليم هو فى الواقع موجود فى الحيوان عندالولادة ، أو الخروج من البيض ، كشكل كامل تم صنعه من السلوك . فهناك مثلاً طيور معينة من صفاتها بعد الفقس مباشرة انها تقبع اوتوماتيكيا فى عشها اذا مر صقر فوقها . وليس ذلك مجرداستجابة لشىء قائم فى السماء . فالشكل يجب ان يكون شكل الصقر ، واذا مر عصفور مثلاً فوقرأس الطائر الحديث الفقس فان ذلك لن يسبب اى رد فعل . وانثى طائر الكناريا التي عزلت منذخروجها من البيضة تبنى عشاً بكفاءة فى أول مرة تقدم فيها المواد المناسبة وتنشأ فيها الحاجة الىذلك . ودودة القز تنسج الشرنقة عند حلول طور معين من عمرها معانها لم تر والديها كما لم تشاهد شرنقة ابداً . ومع ذلك فان الشرنقة التي تنسجها تكون قطعة هندسية رائعة .

ولنفرض الآن اننا تركنا دودة القز تنسج نصف الشرنقة ثم ابعدنا هذا النصف ، فمـــاذا تصنع الدودة ؟ انها لن تبدأ من جديد ، ولكنهاستنسج ما تبقى لها ان تنسجه بالرغم مــن ان النصف الناتج لن يكون له اية فائدة لحمايتها . واذا عدنا للاخطبوط الذى يبنى حائطا من الاحجار للاختباء وراءه ووضعناه فى وسط يحتــوى على قطع زجاجية شفافة فماذا يصنع ؟ انه سيبنى الحائط من هذه القطع بدون اى فائدة فى حجبه وراءها .

ازاء هذه المعلومات وما يشبهها لا يمكننا الا الاستنتاج ان مثل هذه الاشكال الخاصة والتفصيلية من السلوك موجودة فى بناء الحيوان عند الولادة ، وان القوى الموجودة فى الجنين لا يقتصر امرها على تحديد شكل الحيوان ولون جلده او ريشه وملايين التفاصيل الاخرى فى جسمه ، ولكنها تحدد ايضا الاتصالات بين خلايا مخه. وصورةالسلوك الناتج من ذلك فريدة بالنسبة لنوع الحيوان .

« الروتينات الفرعية » المخزونة لسلوك الحشرات :

على أن استنتاجنا السابق يلقى تحدياً من الصور المتقنة الى درجة غير عادية لسلوك بعض الحشرات ، كالنمل والنحل والزنابير . لقد بقي الانسان سنين عديدة مفتوناً بالصور المعقدة للتصرفات المنظمة لهذه الحشرات ، ورأى فيها عناصر مشابهة لعمليات تفكيره . فهل استنتاجنا السابق خطأ أم صواب ؟

فلندرس مثلاً ما تصنعه انثى الزنبور المعروف باسم زنبور سفكس sphex . عندما يحين وقت وضع البيض تحفر هذه الانثى حفرة لهذا الغرض وتبحث عن صرصار من نوع معين تلدغه بطريقة تجعله يصاب بالشلل ولكنه لا يموت ، ثم تجره الى داخل الحفرة وتضع بيضها بجانبه ، ثم تغلق الحفرة وتطير الى غير رجعة . وعندما يفقس البيض تتغذى صغار الزنابير على الصرصار الذي لم يكن قد تعفن . فهل فعلت انثى الزنبور ذلك نتيجة التفكير ؟ ان تفاصيل عملها لا تدل على ذلك . فمثلا من روتين عملها ان تجلب الصرصار المشلول الى الحفرة ، وتتركه عند العتبة ، وتدخل لترى أن كل شيء على ما يرام ، ثم تخرج وتجر الصرصار الى الداخل . على أنه اذا ازيح الصرصار بضع بوصات في وقت وجود انثى الزنبور داخل الحفرة فانها عندما تخرج ستحضر الصرصار مرة اخرى الى العتبة ولكنها لن تدخله فيها وانما تكرر عملية دخولها الحفرة لترى أن كل شيء على ما يرام . فاذا ازيح الصرصار مرة اخرى بضع بوصات اثناء وجودها في الحفرة ، فانها ستعيده الى العتبة مرة اخرى ثم تدخل الحفرة لترى ان كل شيء على ما يرام . وقد اعيدت هذه العملية ٤٠ مرة في احدى التجارب ولم تفكر انثى الزنبور في جر الصرصار الى داخل الحفرة مباشرة بعد تأكدها مرات عديدة بان كل شيء في داخلها على ما يرام .

والشخص الذي يقوم بوضع البرامج المعقدة للكمبيوتر الرقمي لن يجد تصرفات انثى زنبور السفكس غريبة عليه . انها تشبه مجموعة من « الروتينات الفرعية » subroutines المسجلة في الذاكرة الدائمة للكمبيوتر والتي تستدعى للعمل بمجرد ظهور شروط معينة لبيانات الادخال . وفي حالة انثى الزنبور لا بد أن سببا ما ، ربما كان حالتها الفسيولوجية ، سيبدأ سلسلة من الروتينات الفرعية التي تقترن بتجهيز العش ووضع البيض . واول روتين فرعي يستدعى هو تحضير الحفرة . وعند اكمال هذا الروتين الفرعي يستدعى الروتين الفرعي التالي وهو البحث عن صرصار من نوع معين ثم لدغه . واتمام ذلك يستدعي بدوره احضار الصرصار الى عتبة الحفرة . ووجود الصرصار عند الحفرة هو الاشارة التي تعطى لانثى الزنبور للدخول في الحفرة للاختبار النهائي لها . والخروج من الحفرة ومشاهدة الصرصار عند العتبة هو الاشارة لجره الى الحفرة ، وهكذا . وكل ذلك لا يختلف من حيث المبدأ عما يحدث وقت تنفيذ برنامج معقد على الكمبيوتر الرقمي الالكتروني عندما يقوم البرنامج العام المخزون باستدعاء الروتينات الفرعية اذا توفرت شروط معينة .

وتقوم فكرة « الروتينات الفرعية المخزونة التي تستدعيها اشارات معينة » بتفسير اشكال كثيرة من السلوك الموروث للحشرات .

ومثال ذلك انه بعد أن تجد النحلة طعاماً وتعود الى خليتها نجد أنها تقوم برقصة مميزة تبلغ بها النحل الآخر عن اتجاه الغذاء المكتشف وبعده ومقداره ونوعه . وتقوم النحلة بنفس الرقصة حتى ولو كان باقي النحل غائباً !

ومن الأمثلة على سلوك الحشرات ، وفق روتينات فرعية مخزونة ، تصرفات ذكر الفراشة

الليلية عند التزاوج . فهو قد يطير ميلاً الى انثاه دون أن يخطيء . على أنه اذا قطع منه قرن الاستشعار ذو الزغب فانه لن يكون عاجزاً عن الوصول اليها وحسب ، بل انه اذا وضع بجانبها فانه سيكون عاجزاً عن التزاوج . وربما كان « زناد » هذه العملية هو اثارة الرائحة عن طريق قرنه الاستشعارى . والرائحة التي تشير الذكر يولدها عند الانثى غدتان صغيرتان موجودتان عند نهاية بطنها . ومن الممكن قطع هاتين الغدتين دون أن يصيب الانثى ضرر . واذا قطعت هاتان الغدتان من انثى ووضعتا معها فى قفص ثم وضع الذكر معها جميعاً فانه سيثار ، ولكنه سيتوجه الى الغدتين مصدر الاثارة ، ويقوم بمحاولات يائسة لمزاوجتها مع تجاهل تام للانثى .

المغـزى :

لقد سبق ان راينا كيف أفاد علم الأعصاب من المقارنة التى جاء بها البحث المنشور لعالم الرياضيات فينر ولعالم الفسيولوجيا روزنبلوت والمهندس بيجيلو ، تلك المقارنة التى ارتكزت أساساً على بحوث كان قد قام بها المهندسون عن دوائر التغذية المرتدة . وما هذا الا مثال على افادة علم الأعصاب من العلوم الهندسية ، أما فى هذا الجزء من المقال فقد أوردنا من خواص الجهاز العصبى وأعماله ما يجعلنا نتساءل : الى أى مدى يوجد التشابه بين الطرق التى يعمل بها الكمبيوتر الرقمى وتلك التى تعمل بها الاعصاب؟ وما مقدار الفائدة التى نجنيها من معلوماتنا عن « البوابات » فى الدوائر الكهربية للكمبيوتر الرقمى عندما نقوم بدراسة « البوابات » فى الدوائر العصبية ، تلك الدوائر التى تشكل جزءاً من نظام فى غاية التعقيد لا نعرف عنه الا أقل القليل .

ولعله من المناسب الآن أن نعيد قول بعض رجال العلم من أنه اذا رتبنا النظم الاوتوماتيكية تصاعدياً من حيث درجة « الاتمتة » فاننا سنجدانه على قمة النظم جميعاً يقبع النظام العصبى للانسان ، وانه لا يمكن أن يدانيه فى هذا الترتيب أى نظام اوتوماتيكى من صنع البشر .



٤ ــ خاتمة : ما هو الجديد الذى جاءت به السيبرنطيقا ؟

يُعتبر **روس آشبى** W. Ross Ashby واحداً من كبار السيبرنطيقيين . وفى كتابه الشهير An Introduction to Cybernetics (١٩٥٦ ، ١٩٧٠) **تكلم عن الجديد الذى جاءت** به السيبرنطيقا ، وذلك من وجهة نظره بطبيعة الحال . ولعل القارىء يحب أن يقارن انطباعه عن الجديد فى هذا العلم الجديد بالأفكار الأساسية لواحد من السيبرنطيقيين فى هذا الصدد . ولذلك رأيت أن أقدم فيما يلى ملخصاً لفصل من الكتاب السابق الذكر بعنوان : « ما هو الجديد ؟ » .

خصائص السبرنطيقا :

يحمل العديد من الكتب عنوان « نظرية الآلات Theory of Machines » ولكنها تحتوى عادة على معلومات عن أشياء ميكانيكية مثل الروافع والتروس ، والسيبرنطيقا هى الاخرى « نظرية عن الآلات » ولكنها لا تعالج **الأشياء** ، وانما تعالج **طرق السلوك** . فهى لاتسأل « **ما هو هذا الشيء ؟** » ولكنها تسأل « **ماذا يفعل هذا الشيء ؟** » .

وقد بدأت السيبرنطيقا وهى مقترنة بعلم الفيزياء بطرق متعددة ، ولكنها لا تعتمد ، بأى طريقة جوهرية ، على قوانين الفيزياء أو على خواص المادة . وتعالج السيبرنطيقا كل أشكال

السلوك طالما كان عادياً regular أو مقصوداً determinate أو مما يعيد نفسه reproducible والمادية materiality غير ذات موضوع . وكذلك لا يهم ما اذا كانت القوانين الفيزيائية العادية سارية أم لا . ولا يشترط فى حقائق السيبرنطيقا أن تكون مشتقة من فرع آخر من فروع العلم . فللسيبرنطيقا اسسها الخاصة بها .

وهناك الكثير من التشابه بين موقف السيبرنطيقا من الآلة الحقيقية ــ الكترونية كانت أو ميكانيكة أو عصبية ــ وموقف علم الهندسة من الشيء الحقيقى فى فضائنا الارضي (والفضاء هنا معناه الحيز المشغول أو غير المشغول) . وفى سابق الزمان كانت الهندسة تعنى بالعلاقات التى يمكن اظهارها على أشياء فى ثلاثة أبعاد أو فى رسومات فى بعدين . وكانت الأشكال التى تقدمها الأرض ــ الحيوان والنبات والمعادن ــ اكبر عدداً واغنى خواص مما كان يمكن للهندسة الأولية أن تقدمه . وفى تلك الأيام كان الشكل الذى تقترحه الهندسة ولا يمكن اظهاره فى الفضاء العادى يقابل بالشك أو يرفض . فالفضاء العادى كان يسود الهندسة .

واليوم نجد أن الموقف مختلف تماماً . فللهندسة حقوقها الخاصة ، وقوتها الخاصة . ويمكنها الآن أن تعالج بكل دقة عديداً من الأشكال والفضاءات التى تزيد بكثير عن أى شيء يمكن أن يقدمه الفضاء الأرضي . فاليوم نجد أن الهندسة هى التى تحتوى الأشكال الارضية ، وليس العكس ، فالأشكال الارضية ما هى الا مجرد حالات خاصة فى الهندسة التى « تتضمن كل شيء » .

وللسيبرنطيقا موقف مشابه فى علاقتها بالآلة الحقيقية . فموضوعها هو منطقة « كل الآلات الممكنة » وهى لا تهتم الا اهتماماً ثانوياً بأن بعضها لم يصنعه الانسان أو وجد فى الطبيعة بعد . وما تقدمه السيبرنطيقا هو الاطار الذى يمكن أن ترتب عليه الآلات الفردية ، ثم توجد العلاقات بينها ، وتفهم .

ومع احتفاظ السيبرنطيقا بهذه الطريقة التى تعنى بالدرجة الاولى بالشمول والتعميم فانها لا تعالج أية آلة خاصة معينة بأن تسأل « ما هو الفعل الفردى الذى تفعله الآن هنا ؟ » ولكن بأن تسأل : « ما هى كل أنواع السلوك الممكنة التى يمكن أن تقوم بها ؟ » .

وتؤدى هذه الوجهة الجديدة للنظر الى التفكير فى أنواع جديدة من المسائل . فعلى سبيل المثال عندما كانت وجهة النظر القديمة ترى بويضة تنمو وتتحول الى أرنب كانت تسأل « لماذا تفعل البويضة ذلك ؟ ــ ولماذا لا تبقى بويضة ؟ » وقد أدت محاولات الاجابة على هذا السؤال الى دراسة « معطيات الطاقة » أو « المنشطات energetics » والى اكتشاف أسباب كثيرة لتغير البويضة ــ فهى تستطيع أكسدة دهنها ، والدهن يعنى الطاقة الحرة ، وهى لها أنزيمات من نوع معين ، وتستطيع أن تمرر مواد التمثيل الأيضى فى دورة معينة ، وهكذا . وفى تلك الدراسات كانت فكرة الطاقة اساسية .

على أن وجهة النظر السيبرنطيقية مختلفة تماماً ، وان كانت صحيحة تماماً أيضاً . فهى تسلم بأن للبويضة طاقة حرة وافرة ، وبأنها متزنة اتزاناً رقيقاً ، قابلاً للانفجار ، من جهة عمليات التركيب والتحليل العضوية . والسؤال الذى تسأله السيبرنطيقا عن نمو البيضة هو « لماذا يكون التغير الى شكل أرنب ، ولا يكون الى شكل كلب ، أو شكل سمكة ، أو حتى شكل وحش مارد ؟ » . وتتصور السيبرنطيقا مجموعة من الامكانيات أوسع بكثير من المجموعة الفعلية ثم تسأل : لماذا تمتثل الحالة الخاصة ، التي هى بصددها ، لقيودها العادية ؟ وفى هذه المناقشة لا تلعب الأسئلة عن الطاقة أى دور تقريبا ــ فالطاقة يسلم بوجودها ببساطة . والمهم هو الى أى مدى

يتعرض النظام للعوامل التي تحدد وتتحكم. وهكذا لا ينبغى أن تمر اى معلومات ، أو اشارة ، أو عامل من العوامل التى تتحدد وتتحكم ، من جزء الى جزء بدون أن تسجل كحادث هام .

استخدامات السيبرنطيقا

وينتقل ((آشبى)) بعد ذلك الى الطريق التى يؤمل أن تقدم بها السيبرنطيقا يد المساعدة. على أنه يقصر اهتمامه على التطبيقات التى يؤمل منها ، أكثر ما يكون ، فى العلوم البيولوجية . وبعد أن يلاحظ أنه قد حدث الكثير من التطبيقات المعروفة وأنه لا بد أن كثيراً غيرها سوف يتبع فى المستقبل، يذكر أن هناك فضلين علميين خاصين للسيبرنطيقا يستحقان الذكر الصريح .

والفضلان العلميان الأساسيان للسيبرنطيقا فى نظر « آشبى » هما :

١ ــ ان السيبرنطيقا تقدم قاموساً واحداً ومجموعة واحدة للافكار يمكن استخدامها لتمثيل اكثر انواع النظم تنوعاً .

٢ ــ ان السيبرنطيقا تعطى طريقة للمعالجة العلمية للنظام system الذى يكون فيه التعقيد بارزاً وعلى درجة من الأهمية بحيث لا يمكن تجاهله (وما أكثر ذلك فى عالم البيولوجيا) .

ولنتكلم أولاً عن الفضل الأول للسيبرنطيقا :

الى عهد قريب كان يصعب ــ بدون ضرورة ــ القيام بأية محاولة لربط الحقائق الكثيرة المعروفة عن الأدوات الميكانيكية للضبط والتنظيم ، مثلاً ، بما كان معروفاً عن المخيخ . وكان سبب هذه الصعوبة أن خواص تلك الأدوات كانت توصف بكلمات يشتم منها رائحة الطيار الاوتوماتيكى ، أو جهاز الراديو ، أو الفرملة الهيدروليكية ، بينما كانت خواص المخيخ توصف بكلمات يشتم منها رائحة غرفة التشريح ومخدع النوم ــ وهى جوانب لا محل لها فى مجال المشابهات بين عمل جهاز ميكانيكى للتحكم وبين الانعكاسات المخيخية .

ولقد وجد مرات عديدة فى العلم أن اكتشاف علاقة بين فرعين يؤدى الى مساعدة كل منهما فى تطور الآخر . وتكون النتيجة فى مثل هذه الأحوال تزايداً فى سرعة نمو كل من الفرعين . (ومن الأمثلة على ذلك (١) حساب التفاضل والتكامل ، والفلك (٢) الفيروس، وجزىء البروتين . (٣) الكروموزومات والوراثة) . ومع أن كلاً من الفرعين لا يستطيع أن يعطى براهين على قوانين الفرع الآخر ، فان كلاً منهما قد يتقدم للاخر باقتراحات مفيدة ومثمرة للغاية . وهنا لا نحتاج الى أن نذكر أن السيبرنطيقا تبشر بأعظم الآمال فى اكتشاف عدد كبير من التناظرات بين الآلة والمخ والمجتمع ، وأنها تستطيع أن تعطى لغة مشتركة يمكن عندما تتم اكتشافات فى أحد الفروع أن ينفاد منها فى باقيها .

والآن جاء دور الكلام عن الفضل الثاني للسيبرنطيقا :

فى النظم البسيطة لا تبدى طرق السيبرنطيقا فى بعض الأحيان ميزة واضحة على الطرق المعروفة منذ وقت طويل . ولكن الطرق الجديدة تبدى قوة ملحوظة عندما تصبح النظم معقدة .

واليوم يقف العلم ، الى درجة ما ، عند مفترق الطرق . فقد بقى قرنين من الزمان يبحث نظماً هى اما نظم بسيطة الجوهر أو قابلة للتحليل الى مكونات بسيطة . وقد بقيت العبارة « قسم

بتغيير عامل واحد من العوامل فى كل مرة »شائعةفى العلم لمدة قرن كامل . ولم يتضح وجود نظم معقدة لا تسمح بتنفيذ هذه العبارة الا عندما قام**السير رونالد فيشر** Sir Roland Fisher بأعماله فى التجارب على التربة الزراعية . فقد كانت العوامل ديناميكية ومرتبطة ببعضها البعض بطريقة تجعل تغيير أحد العوامل يؤدى فى الحال الى نوع من التأثير على العوامل الاخرى . وقد بقى العلم الى عهد قريب يميل الى تحاشي مثل هذه النظم المعقدة ، مركزاً اهتمامه على نظم بسيطة أو قابلة للاختزال .

على أنه فى دراسة بعض النظم لا يمكن تحاشى التعقيد كلية . فمخ الكائن الحى ، وتل النمل كمجتمع يقوم بوظائفه ، والنظام الاقتصادى البشرى كانت امثلة بارزة فى كل من اهميتها العملية وفى عدم انصياعها للطرق القديمة . وهكذا نجد اليوم أمراضاً عقلية لا تعالج ، ومجتمعات يعتريها الانحطاط ، ونظماً اقتصادية تضطرب ، ولايستطيع رجل العلم أن يفعل شيئاً أكثر كثيراً من الشعور بتعقد الموضوع الذى يدرسه . على أن العلم قد قام بالخطوات الاولى نحو دراسة « التعقيد » كموضوع قائم بذاته . وتبرز السيبرنطيقا بين طرق معالجة التعقد . وهى تعطى الأمل فى تقديم طرق فعالة لدراسة نظم شديدة التعقيد فى جوهرها ، وللتحكم فى هذه النظم . وهى ستفعل ذلك بأن تحدد أولاً ما يمكن عمله (فربما كان الكثير من بحوث الماضى يحاول المستحيل) ، ثم تعطى استراتيجيات عامة يمكن استعمالها فى العديد من الحالات الخاصة ، وبهذه الطريقة تعطى الأمل لتقديم الطرق الأساسية لمعالجة الامراض النفسية ، والاجتماعية ، والاقتصادية ــ التى تهزمنا الآن بتعقد جوهرها .



٥ ــ تذييل : نظرية الاتصال

تعنى « نظرية الاتصال communication theory والتى تعرف فى معناها الواسع باسم « نظرية الاعلام information theory باكتشاف القوانين الرياضية التى تحكم النظم المصممة لتوصيل ومعالجة المعلومات . وهى تنشىء مقاييس كمية للمعلومات ، ومقاييس لسعة النظم المختلفة لارسال وتخزين ومعالجة المعلومات . ومن الوسائل التى تعالجها ما يتعلق بايجاد أحسن الطرق لاستخدام نظم الاتصال القائمة المختلفة ، وأحسن الطرق لفصل الاشارات عن الضوضاء ، ومسألة وضع حد أعلى لما يمكن عمله بقناة اتصال معينة . ويهتم مهندسو الاتصال خاصة بالاكتشافات الرئيسية فى هذه النظرية ، على أن العاملين فى ميدان علم النفس وميدان علم اللغات قد أفادوا من بعض أفكارها .

و « **المعلومات** information » فى أوسع معانيها تفسر بأنها تحتوى على **الرسالة** message التى تحدث فى أى وسط معتاد للاتصال مثل التلغراف والراديو والتلفزيون ، كما تحتوى على **الاشارات** signals التي تحدث فى الآلات الحاسبة الالكترونية وغيرها من مبتكرات معالجة البيانات ، وكذلك الاشارات التي تحدث فى شبكات أعصاب الحيوان والانسان . وليس من الضرورى أن تكون الرسالة أو الاشارات ذات معنى بالمفهوم العادى للكلمة . فهذه النظرية اذن تختلف اختلافاً بيناً عن نظرية هندسة الاتصال الكلاسيكية التي تعالج المبتكرات المستخدمة ولا تعالج الرسالة موضوع الارسال .

الأفكار الرئيسية فى نظرية الاتصال :عندما يتكلم شخص فى ميكروفون بمحطة ارسال

فانه يكون هناك « مصدر معلومات » هو الشخص المتكلم ، و « رسالة » هي الصوت الذى يحدثه ، و « مرسل transmitter » هو الميكروفون والمعدات الالكترونية التي تحول هذا الصوت الى موجات لاسلكية ، و « قناة channel » هي الفضاء الواقع بين المرسل وهوائيات الاستقبال ، و « ضوضاء noise » هي التشويش أو الاضطراب الذى يحدث للاشارات أو الرسالة ، و « مستقبل receiver » هو جهاز الراديو المنزلي ، و « رسالة مستقبلة » هي صوت ذلك الراديو ، و « وجهة destination » هي الشخص الذى يستمع الى هذه الرسالة .

وهذا النظام الذى ذكرناه (والذى يتكون من شخص يتكلم فى ميكروفون بمحطة ارسال الخ . .) ما هو الا حالة خاصة من نظام عام يتكون من الأجزاء الرئيسية الآتية :

١ ـ **مصدر المعلومات** الذى يقدم المعلومات الخام أو الرسالة .

٢ ـ **المرسل** الذى يحول المعلومات الى رموز أو شفرة أو غير ذلك من الصور المناسبة لقناة الاتصال . ويُطلق على الرسالة بعد تحويلها اسم **« الاشارة »** .

٣ ـ **القناة** التي ترسل عليها الاشارة الى نقطة الاستقبال . وفى أثناء الارسال قد تتغير الاشارة أو تشوه (بواسطة التشويش الصوتي فى الراديو ، وبواسطة النقط والخطوط البيضاء فى التلفزيون الخ . .) . ويُطلق على آثار الاضطراب اسم **« الضوضاء »** .

٤ ـ **المستقبل** الذى يترجم أو يحول الاشارة المستقبلة الى الرسالة الأصلية أو الى تقريب منها .

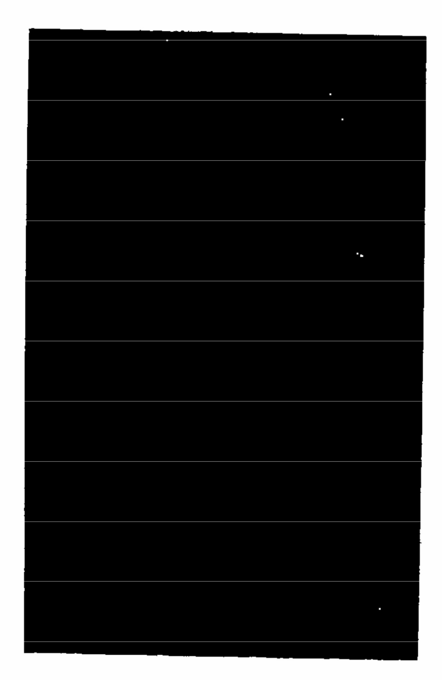
٥ ـ **الوجهة** أو المستقبل المقصود للمعلومات .

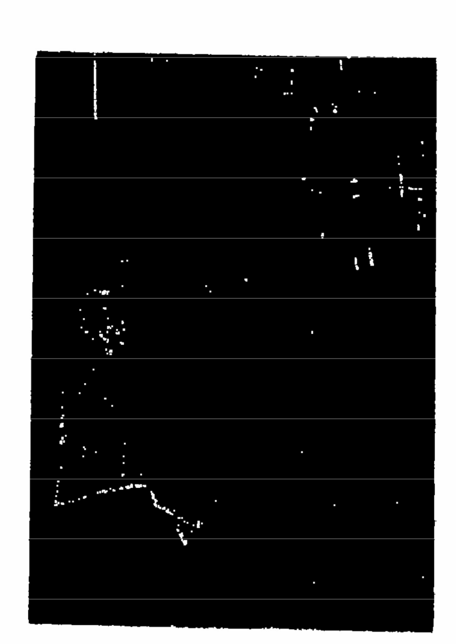
ومن الأفكار الأساسية فى نظرية الاتصال أن المعلومات يمكن أن تُعالج مثلما تعالج الكميات الفيزيائية (كالكتلة والطاقة) الى حد كبير .

قياس المعلومات : من اللازم أن نوضح أولاً المعنى الدقيق لكلمة « معلومات » من وجهة نظر مهندس الاتصال . اذ غالباً ما تكون الرسائل المراد ارسالها ذات معنى ، فتصف حوادث حقيقية أو ممكنة الوقوع ، أو تتكلم عن شيء يتعلق بمثل هذه الحوادث . على أن الأمر ليس دائماً كذلك . فاذا كان هناك أى معنى عند ارسال الموسيقى مثلاً فسيكون أصعب على الفهم منه عند ارسال رسالة لفظية . وفى بعض المواقف يواجه المهندس ارسال سلسلة لا معنى لها من الأرقام والحروف . وعلى أى حال ، ليس هناك صلة بين المعنى ومسألة ارسال المعلومات . فارسال سلسلة من المقاطع التي لا معني لها لا يقل صعوبة عن ارسال نص لغوى سليم (وهو فى الواقع أصعب منه) . والخاصية الهامة للمعلومات من وجهة نظر الارسال هي أن رسالة خاصة محددة يقع عليها الاختيار من بين مجموعة من الرسالات الممكنة . وما يجب ارساله هو مواصفات للرسالة المحددة التي وقع عليها الاختيار من مصدر المعلومات . وليس من الممكن اعادة تكوين الرسالة الأصلية عند نقطة الاستقبال ما لم يحدث ارسال مثل هذه المواصفات غير المبهمة . وهكذا نجد انه ينظر الى المعلومات ، فى هذه النظرية ، على أنها اختيار لرسالة من بين مجموعة من الرسائل الممكنة . وبالاضافة الى ذلك ، تحدث هذه الاختيارات باحتمالات معينة ، فبعض الرسائل تتكرر أكثر من الاخرى .

الى اليمين (فوق وتحت) : والد السيبرنطيقا نوربرت فينر Nortert Wiener (١٨٩٤ – ١٩٦٤) اشهر علماء القرن العشرين الذين انجبتهم الولايات المتحدة الامريكية . لم يكن يهتم بملابسه دائما .

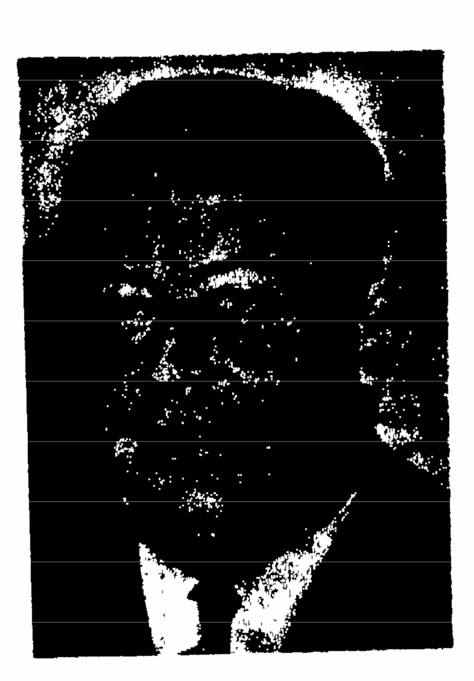
تحت الى اليسار: جريى وولتر Grey Walter مدير معهد علم الأعصاب فى برستول (انجلترا) من اشهر علماء السيبرنطيقا وان كان ينتقد غيره من السيبرنطقيين ، بمن فيهم فينر نفسه



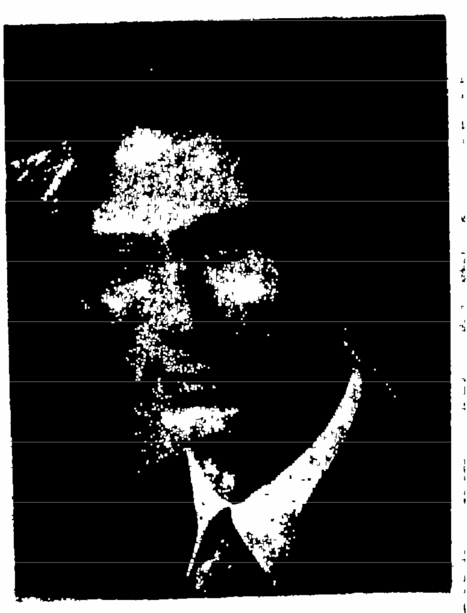





تشارلز بابدج Charles Babbake (١٧٩٢ ـ ١٨٧١) عالم الرياضيات الانجليزي ، يعتبر جد العقول الآلية ، وهى من أهم ما تعنى به السيبرنطيقا .



جون فون نويمان Von Neumann (١٩٠٣ ـ ١٩٥٧) العالم الأمريكي الهنغارى المولد . صمم آلة تعيد انتاج نفسها .



كلود شانون Claude Shannon (١٩١٦ـ) الاستاذ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا . منشىء نظرية الاتصالات الحديثة .



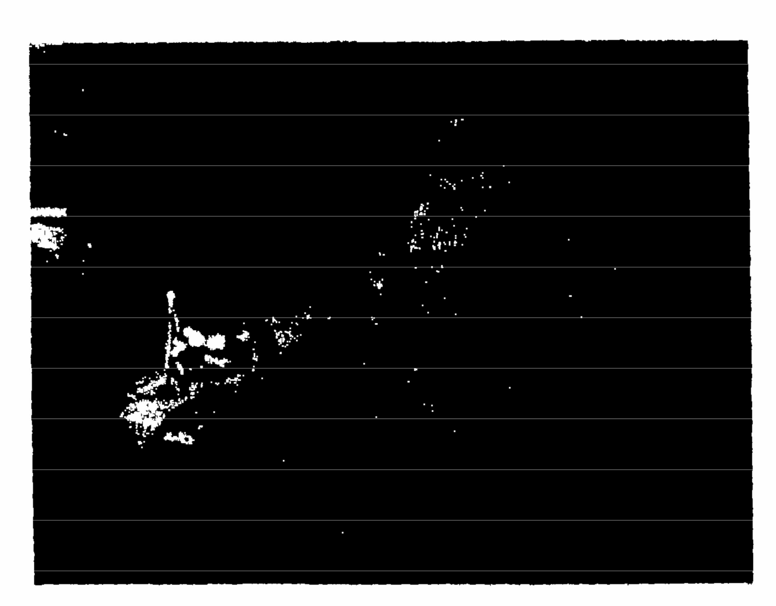
جورج بول George Boole (١٨١٥ـ١٨٦٤) عالم الرياضيات الانجليزى . لم يكن يحلم بان « الجبر البولى » سيستخدم فى تصميم العقول الالكترونية .



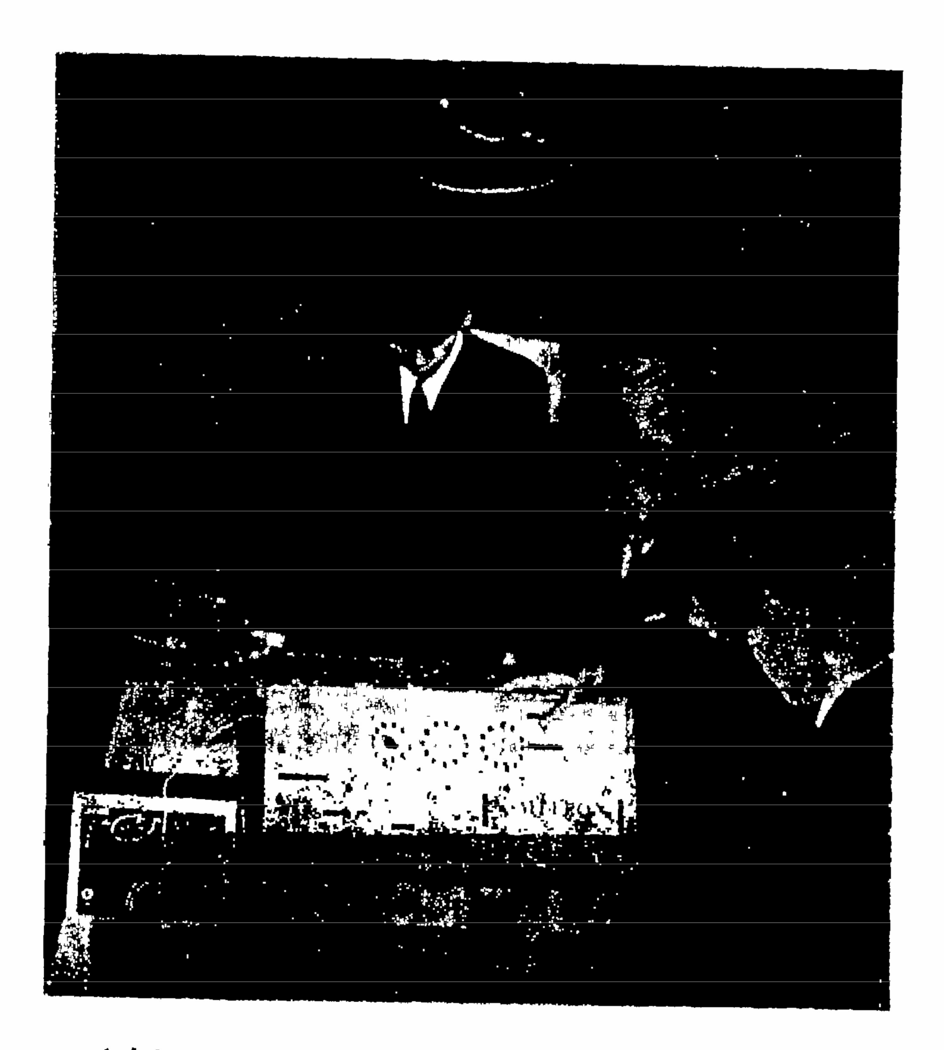
جيمس وات James Watt اخترع في سـنة ١٧٩٠ جهاز التحكم الآلى فيسرعة الالة البخارية



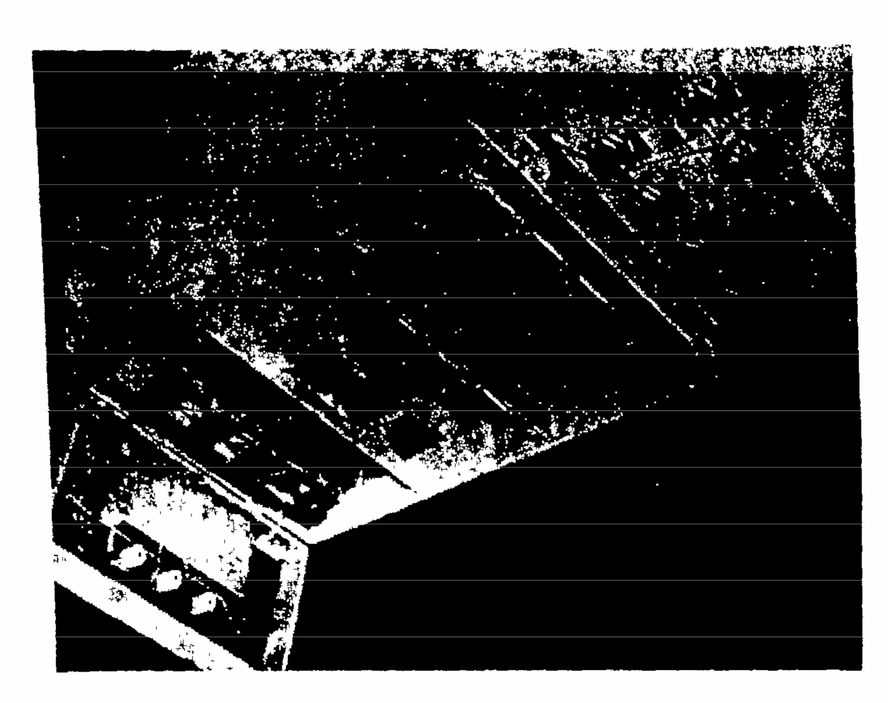
جهـاز التحكم الآلى فى سرعة الآلة البخارية الذى اخترعه جيمس وات .



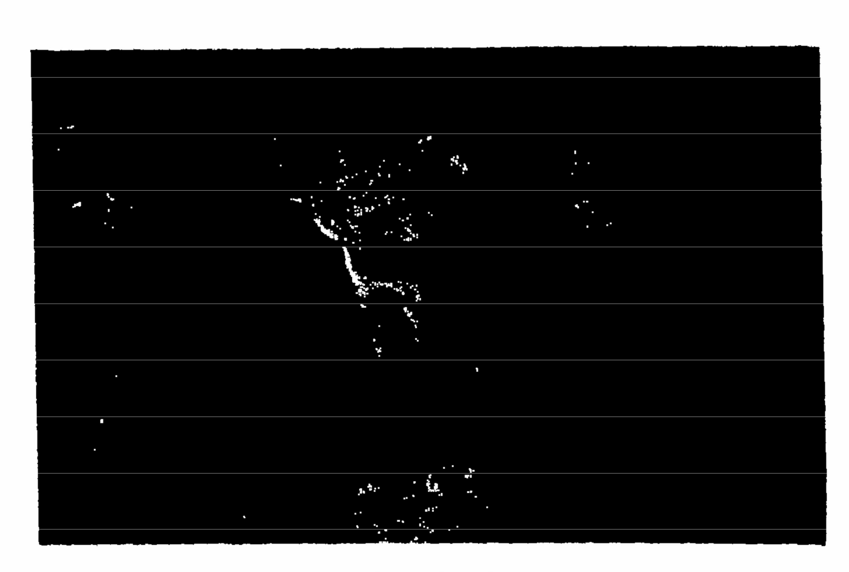
المهندس الفرنسى جوزيف ـ مارى جـاكار Jaseph-Marie Jacguard الذى اخترع فى سنة ١٨٠٤ نولاينسج الحرير يقوم بالتحكمالتلقائى فى الخيوط مما أغنى عن عدد كبير من العمال .



تهتم الدول المتقدمة بان يقوم الشباب بدراسة احدث العلوم والمخترعات . ويرى في اسفل تلاميذ احدى المدارس الاعدادية الانجليزية امام كمبيوتر صغير من صنعهم يستطيع أن « يلعب » مباراة في لعبة تسمى « نيم » مما جعلهم يطلقون على هذا الكمبيوتر اسم « نميترون » nimitron . ويرى تركيب هذا الكمبيوتر من الداخل في الصفحة المقابلة. وتحت صورة ذلك التركيب يرى عالم الرياضيات السوفييتي كولموغروف A.N Kolmogrov (١٩٠٣ ـ) ، الذي قام بتطوير نظرية الاعلام information theory ، مع تلاميذه من الشباب .



التركيب الداخلى للكمبيوتر الصغير « نميترون » من صنع تلاميذ احدى المدارس الاعدادية بانجلترا .

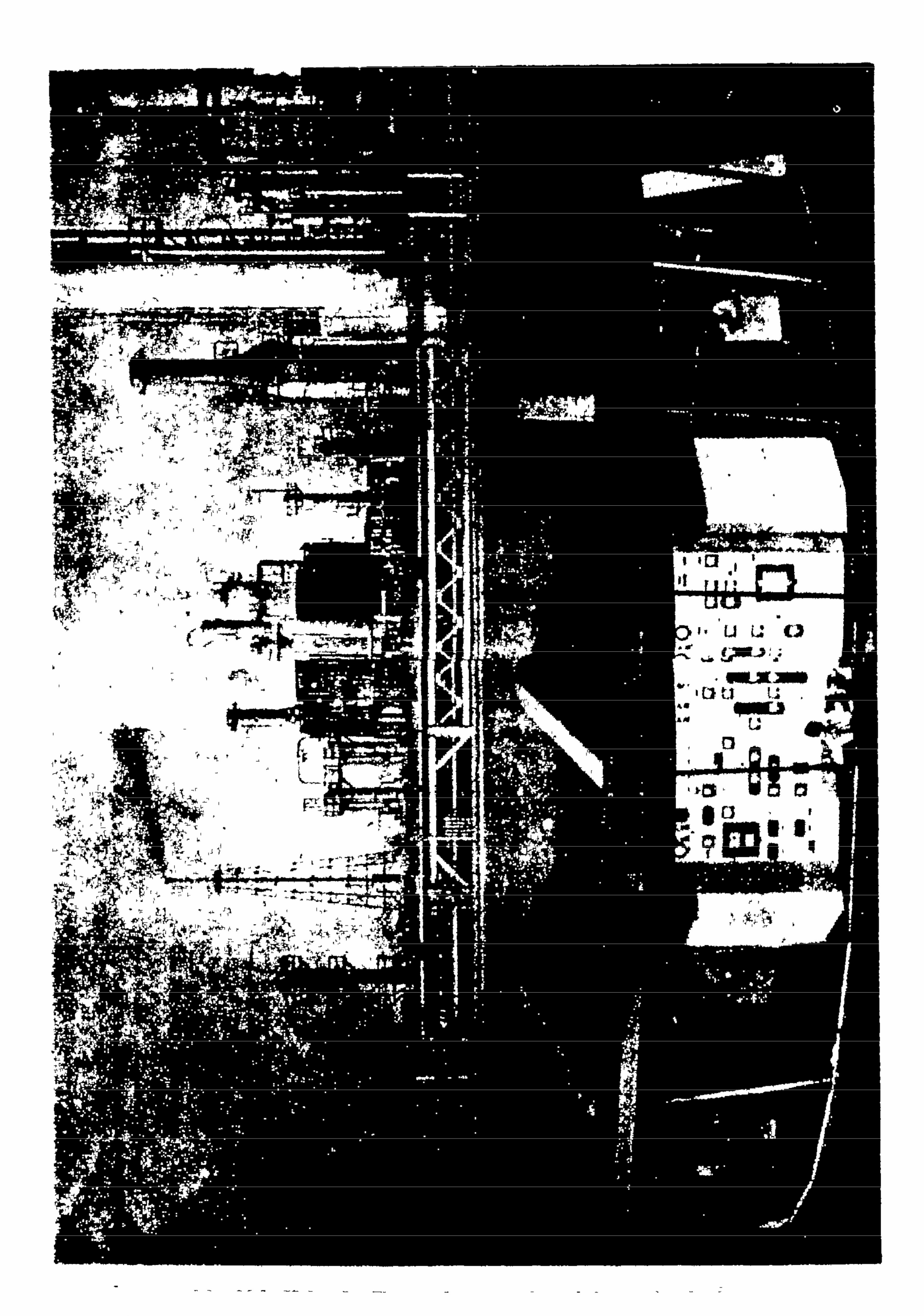


عالم الرياضيات السوفييتي كولموغروف يشرح نظرياته للشباب .



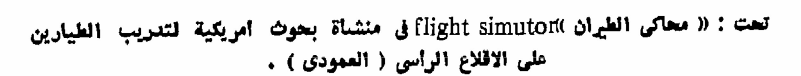
فوق : كمبيوتر « يلعب » الشطرنج . ويقوم هذا الكمبيوتر بحركاته على قرطاس مطبوع عليه لوحة الشطرنج . ومن الممكن ان يهزم اللاعب هذا الكمبيوتر . على انه ربما امكن في المستقبل وضع برنامج يجعل الكمبيوتر يهزم احسن اللاعبين .

الى اليسار : يقوم ثلاثة رجال بالعمل في التحكم الاوتوماتيكي الذى يوجه كل الانتاج في مصفاة لتكرير البترول في مدينة تايلر Tyler بولاية تكساس الأمريكية . وهناك يحول ١٧٠٠٠ برميل من البترول الخام يوميا الى زيت المحركات وبنزين الطائرات وغيرها من منتجات البترول .

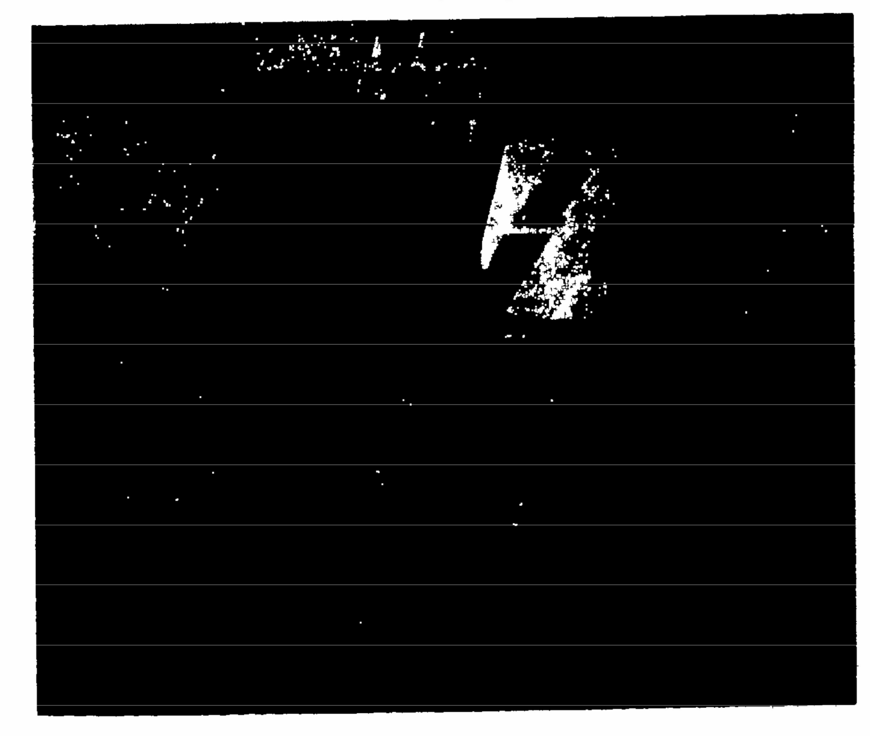


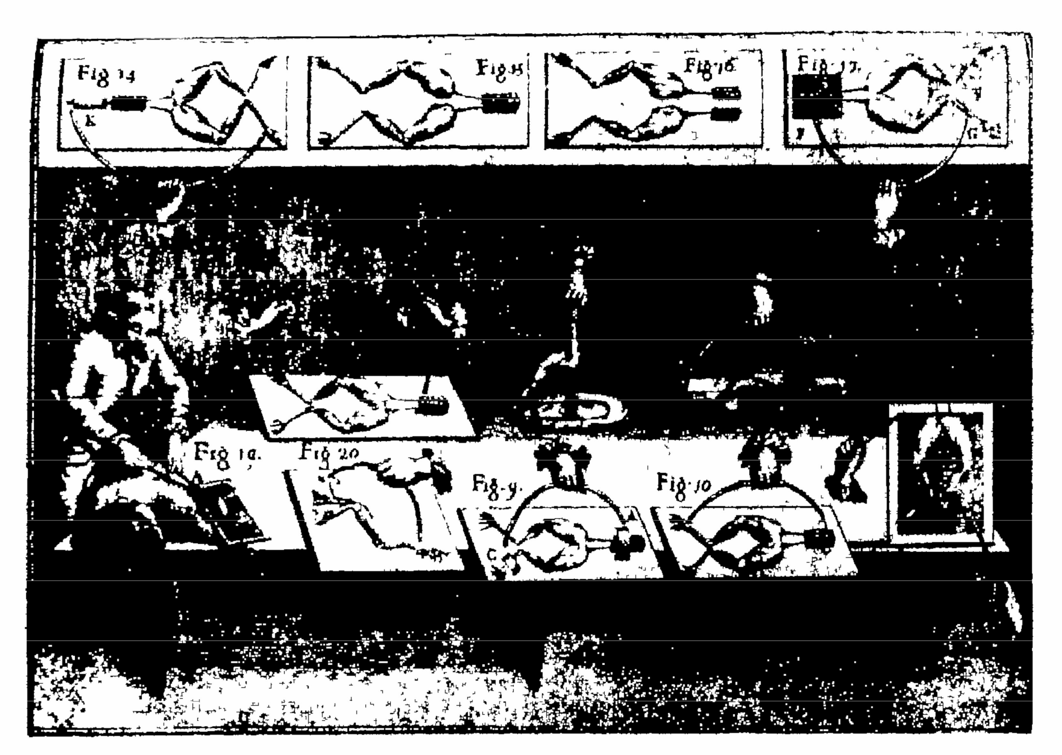


فوق : فانيفر بوش Vannevar Bush امام« المحلل التفاضلى » الذى اخترعه سنة ١٩٣٠ والـذى كـان اساس العقـول الالكترونيـةالتناظـرية ، وهـى تقـوم بدور كبير فى « الاوتوميشن » او الصناعة الآلية .



تحت : « محاكى الطيران »flight simutor فى منشاة بحوث امريكية لتدريب الطيارين على الاقلاع الراسى (العمودى) .





ادت تجارب لويجى جلفانى Luigi Galvani على « كهرباء الحيوان » في اواخر القرن الثامن عشر الى ان يطلق عليه لقب « والد علـم الاعصاب الحديث » .



تعنى السيبرنطيقا بدراسة سلوك الحيوان . وهنا في وسط الصورة يرى العالم الروسى بافلوف Ivan Petrovitch Pavlov (١٨٤٩ - ١٩٣٦) الذى قام بدراسات كلاسيكية في هذا المجـال .



تقوم البحوث فى مناطق مختلفة مـن العالملتعويض فاقدى الاطراف والحواس عننقصهم. وقد اخترع الدكتور بوتوملى Alastair M. Bottomley (الذى يعمل فى مركز بحوث العضلات في مجلس البحث الطبى في لندن)يدا صناعية تعمل بتيارات كهربية صادرة من اعصاب جسـم لابسها . ويمكن اسـتبدالهذه اليد باخرى للقيام بوظائف مختلفة . وكذلك قامت ((مختبرات بحـوث كهـرباءالشمال)) في اوتاوا بكندا بصناعة ذراع ويد صناعيتين تستخدمهما الطفلة التى تظهـر فيالصورة المقابلة وهى تكتب سمها بالطباشير.

اما في لصورة العليا فيظر جهاز مكسيكي يدعىاموروسـكوب Amauroscope يسـتخدم الخلايا الضوئية لتغذية مـخ رجـل اعمـىباشارات كهربية تسمح له بالتمييز بين صور غير واضحة من الضوء والظل .



ألى اليمين : أليه الصناعية التى أخترعها الدكتور بوتوملى وتعمل باستخدام تيارات كهربية صادرة من جسم لابسها .

طفلة تستخدم ذراعا ويدا صناعيتين تعملان بقوة هيدروليكية من صنع :

Northern Electric Research Laboratories, Ottawa

المراجــع

1. ASIMOV, 1. : **The Human Brain** ; Nelson, 1965.
2. ASHBY, W. R. : **An Introduction to Cybernetics** ; Chapman and Hall, 1956, 1970.
3. ATKINSON, P. : **Feedback Control Theory for Engineers** ; Heineman, 1968.
4. BABSKY, E. B. et al : **Human physiology**, Vol. II ; Mir, 1970.
5. BAYLISS, L. E. : **Living Control Systems** ; English Universities Press, 1968.
6. BEER, S. : **Cybernetics and Management** ; English University Press, 1970.
7. BREWER, C. V. : **The Organization of the Central Nervous System**, Heinemann.
8. BROWN, J. A. **Computers and Automation** ; Arco, 1968.
9. CARNE, E. B. : **Artificial Intelligence Techniques** ; Macmillan, 1965.
10. CLARK, J. O. E. : **Computers at Work** ; Hamlyn, 1970.
11. DISTEFANO, J. J. III et al. : **Feedback and Control Systems** ; Mc Graw-Hill, 1967.
12. DOUGLAS, J. D. : **The Technological Threat** ; Prentice-Hall, 1971.
13. EDWARDS, E. : **Information Transmition**, Chapman and Hall, 1969.
14. **ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA** 1967.
15. **ENCYCLOPEDIA AMERICANA** 1962.
16. EVANS, C. R. et al. editors : **Key Papers, Cybernetics** ; Butterworth, 1968.
17. FISHLOCK, D. : **Man Modified** ; Jonathan Cape, 1969.
18. FOSTER, D. : **Modern Automation** ; Pitman and Rowse Muit, 1963.
19. FUCHS, W. R. : **Mathematics for the Modern Mind**, Macmillan, 1971.
20. George : **Cybernitics** ; Teach Yourself Books, 1971.
21. HYDEN, H. editor : **The Neuron** ; Elsevier, 1967.
22. KLIR, J. et al. : **Cybernetic Modelling** ; Illiffe, 1967.
23. LYTEL, A. : **Digital Computers and Automation**, Bobb-Merril, 1966.
24. MARSHALL, W. A. : **Development of the Brain** ; Oliver and Boyd, 1968.
25. MAXFIELO, M. ET al. Editors : **Biophysics and Cybernetic Systems Proceedings of the Second Cybernetic Sciences Symposium**, Macmillan, 1965.
26. McGRAW-HILL, **Modern Men of Science**, Vol. I, 1966.
27. MONNIER, M. : **Functions of the Nervous System**, Vol. I ; Elsevier, 1968.
28. MORRIS, N. M. : **Control Engineering** ; McGraw-Hill, 1968.
29. NEMES, T. N. : **Cybernetic Machines** ; Illife, 1969.
30. NOBACK, C. H. : **Human Nervous System** ; McGraw-Hill, 1967.
31. NOURSE, A. E. et al. : **The Body**, Time-Life International, 1969.
32. PASK, G. : **An Approach to Cybernetics** ; Hutchinson, 1961.
33. PEDELTY, H. J. : **An Approach To Machine Intelligence** ; Macmillan, 1963.
34. PITMAN, R. J .G. : **Automatic Control Systems Explained** ; Macmillan, 1966.
35. PORTER, A. : **Cybernetics Simplified** ; English University Press,. 1969.
36. ROSE, J. editor : **Survey of Cybernetics** ; Illife, 1969.
37. TATON, R. editor ; **Science in the Nineteenth Century**, 1965.
38. **Science in the Twentieth Century.** Thames and Hudson, 1966.
39. WIENER, N. : **Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine** ; Wiley, 1961.
40. WIENER et al, Editors ; **Progress in Biocybernetics**, Vol. I, 1964.
41. WOOLDRIDGE, D. E. : **The Machinery of the Brain** ; McGraw-Hill, 1963.
42. Young, J. F. : **Cybernetics** ; Illiffe, 1969.